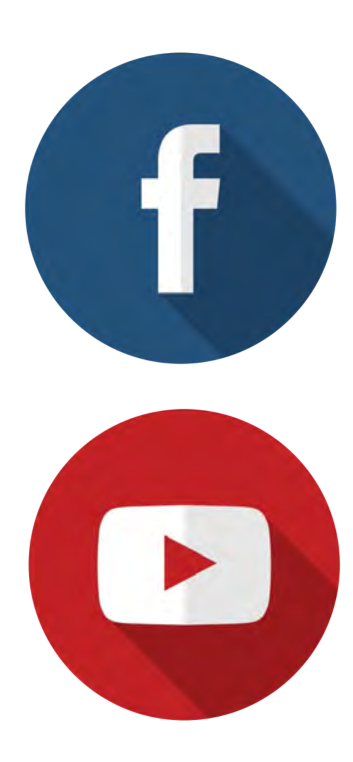
In the name of Allah, the Most Gracious, the Most Merciful







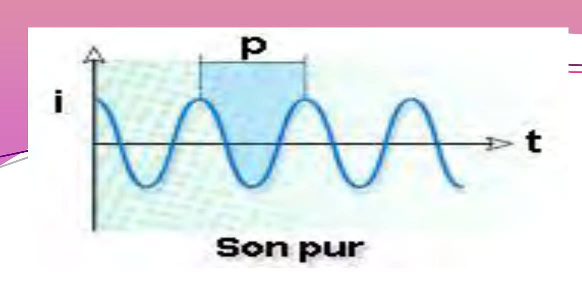
Physiologie de l'audition 1

introduction

- L'audition est une fonction sensorielle
- Organe de l'audition :oreille
- Stimulus :son

Le son:

- Le son peut être défini comme représentant la partie audible du spectre des vibrations acoustique;
- prend essentiellement en compte deux paramètres des vibrations acoustiques : la
- **fréquence ou nombre de vibrations par seconde (Hertz = Hz) qui définit les sons aigus et**graves, et
- **l'intensité ou amplitude de la vibration (décibel = dB) qui définit les sons forts ou** faibles.



la vibration est caractérisée par une seule fréquence.
(p=période, t=temps, i=intensité)

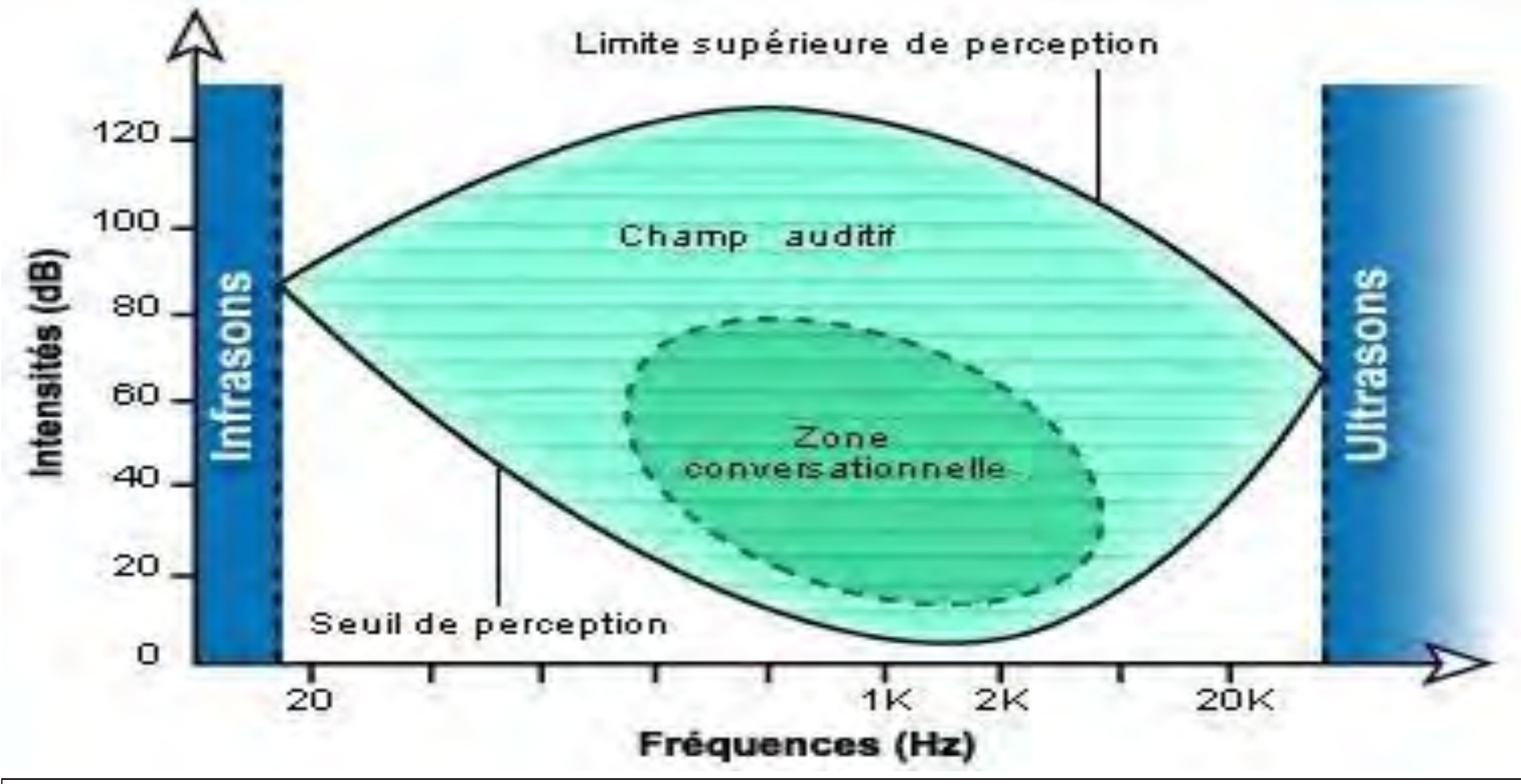


Son musical : à la même fréquence fondamentale que le son pur ci-dessus
s'ajoutent des harmoniques (fréquences plus aiguës, multiples entiers de la fréquence fon**d**amentale) qui caractérisent le timbre de l'instrument ou de la voix.



Bruit : pas de fréquence caractéristique.

- L'oreille humaine perçoit des fréquences comprises entre **20 Hz (fréquence la plus grave) et**
- **20000 Hz (fréquence perçue la plus aiguë) mais elle est surtout sensible aux fréquences de**
- **1000 à 4000 Hz , nous qualifions d'infrasons toute fréquence** inférieure à 20 Hz.
- De même, nous qualifions d'ultrasons tout ce qui est au-delà de 20 kHz. Le
- seuil auditif, c'est-à-dire le point où le silence est rompu par un bruit audible est de **0 dB chez**
- le jeune adulte. Un son devient gênant à **120 dB et il devient douloureux à 140 dB environ**



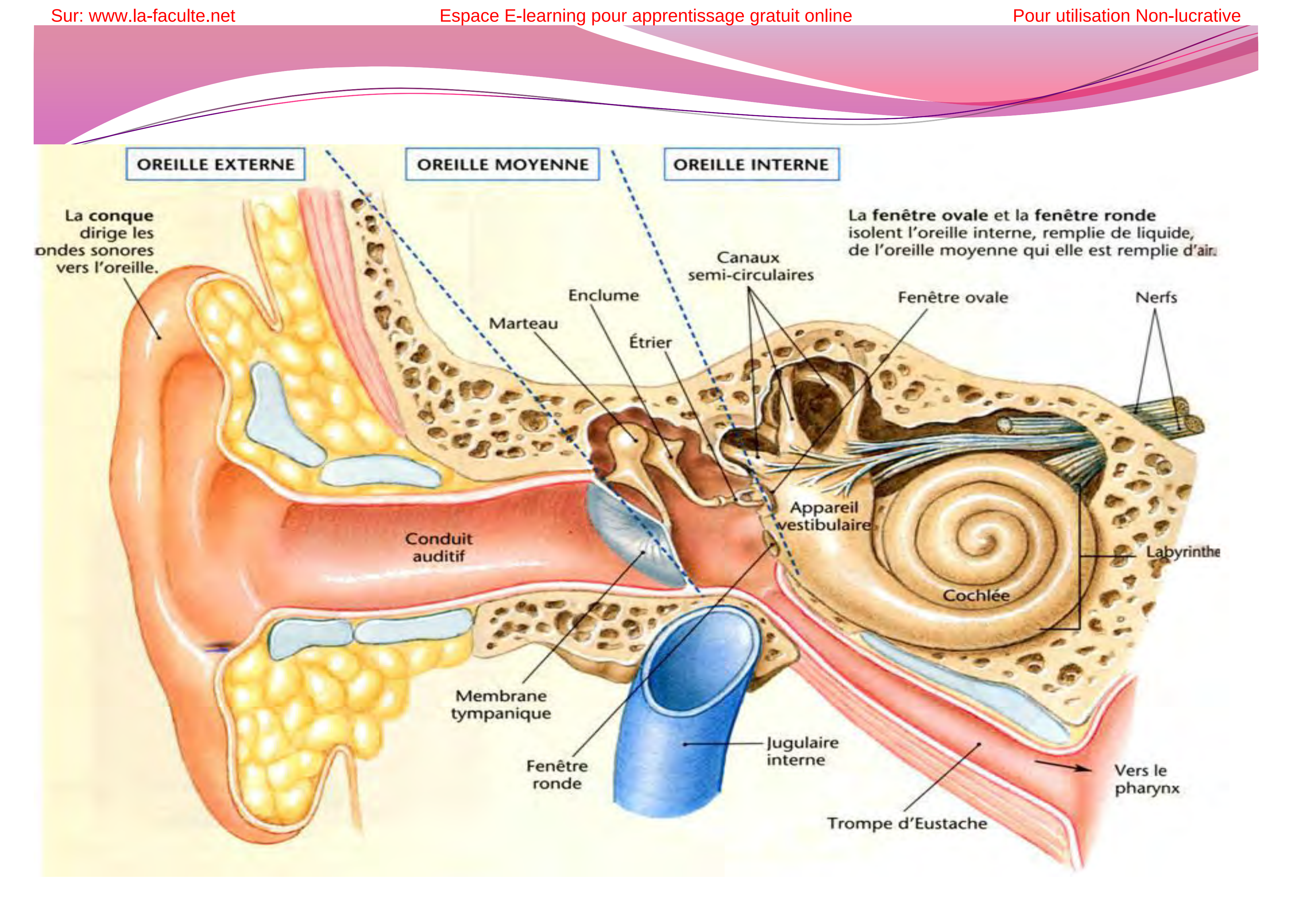
***Spectre audible chez l'homme** : compris entre 20 et 20000 Hz*

***La bande conversationnelle** est située entre 300 et 3000Hz (voie humaine)*

***Courbe audio métrique** établie à partir des intensités seuil de perception : (intensité sonore nécessaire et suffisante pour percevoir un son d'une fréquence choisie)*

Anatomie fonctionnelle de l'oreille

- L'organe de l'audition est l'oreille
- Subdivisée en 3 parties: externe,moyenne,interne



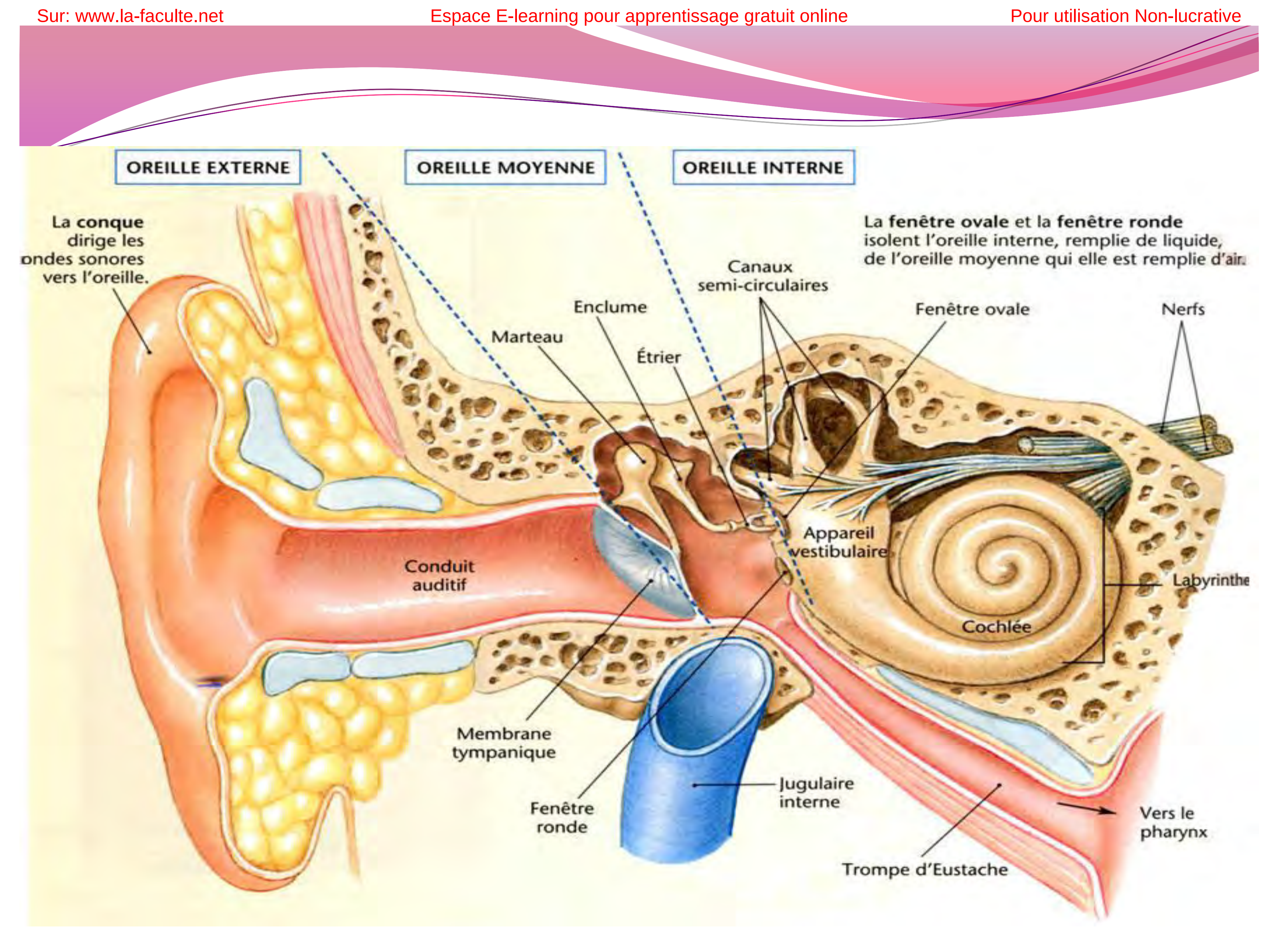
OREILLE EXTERNE
OREILLE MOYENNE
OREILLE INTERNE
La conque dirige les ondes sonores vers l'oreille.
La fenêtre ovale et la fenêtre ronde isolent l'oreille interne, remplie de liquide, de l'oreille moyenne qui elle est remplie d'air.
Canaux semi-circulaires
Enclume
Marteau
Étrier
Fenêtre ovale
Nerfs
Appareil vestibulaire
Conduit auditif
Labyrinthe
Cochlée
Membrane tympanique
Jugulaire interne
Fenêtre ronde
Vers le pharynx
Trompe d'Eustache

Oreille externe

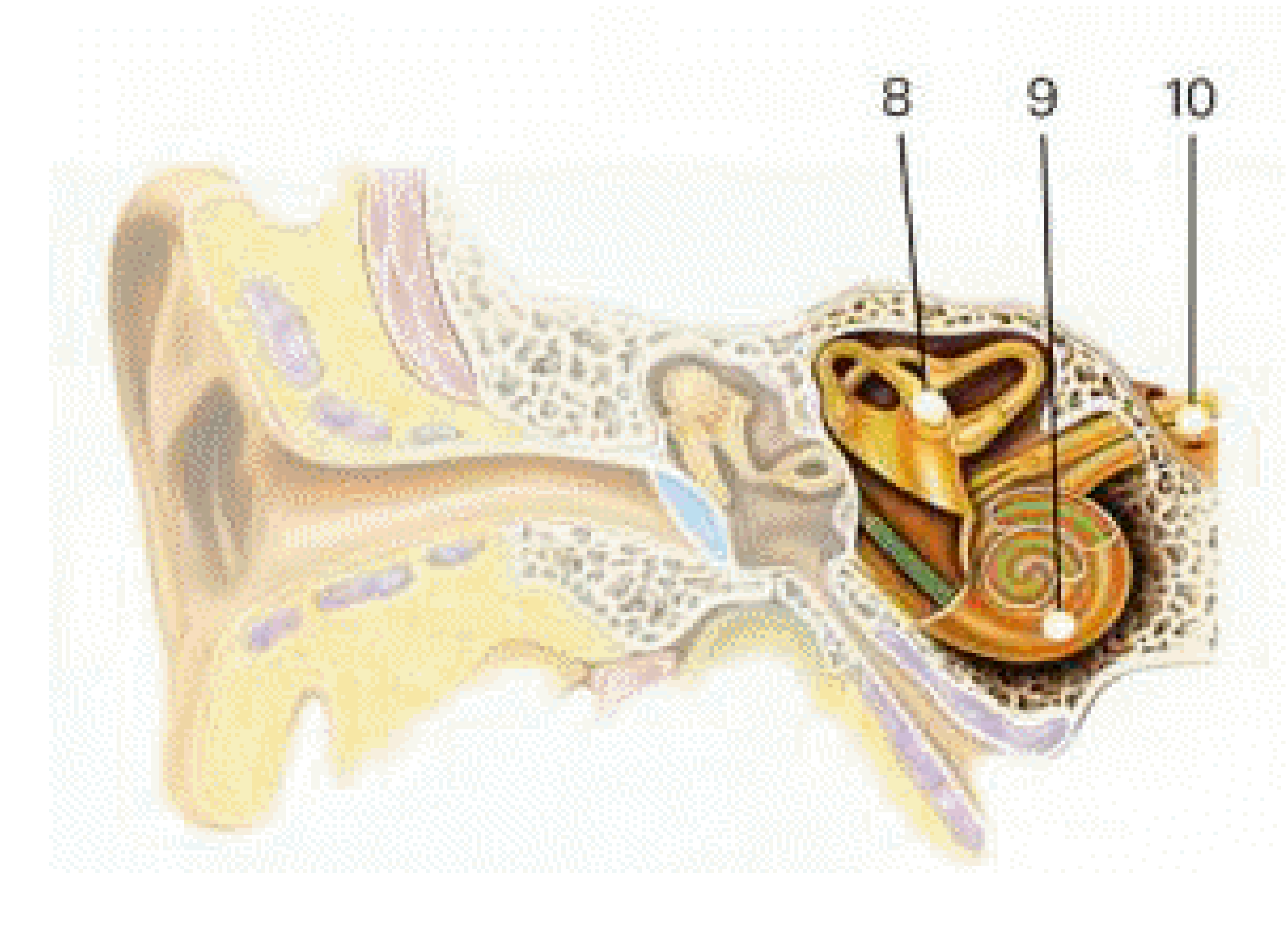
- Formée du pavillon et le conduit auditif externe:2,5 cm de long
- Tapissé de cellule cérimuneuses:cerumen
- Role:
- Protéger le tympan des agressions extérieur
- De capter: antenne acoustique, amplifier et de transmettre jusque tympan les vibrations sonores
- Localisation des sons
- Participer à l’audition binaurale.

Oreille moyenne

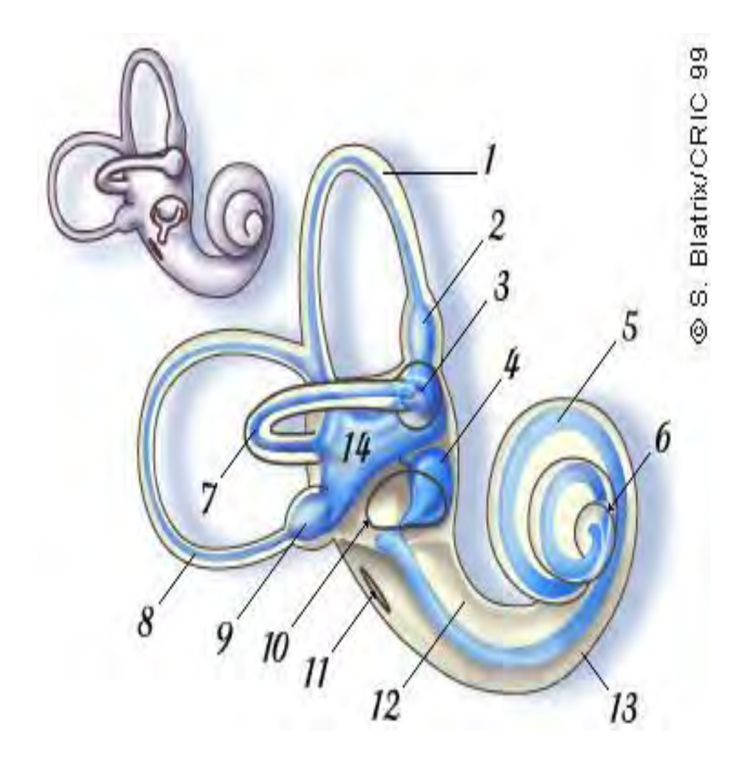
- Comprend: la caisse du tympan, la trompe d'eustache et la chaîne des osselets: marteau, enclume et l'étrier.
- Caisse du tympan contenant de l'air fermée sur l'oreille externe par la membrane du tympan et sur l'OI par les fenêtre ronde et ovale
- Elle communique avec le pharynx par la trompe d'eustache :but créer la même pression atmosphérique sur les 2 faces du tympan



OREILLE EXTERNE
OREILLE MOYENNE
OREILLE INTERNE
La conque dirige les ondes sonores vers l'oreille.
La fenêtre ovale et la fenêtre ronde isolent l'oreille interne, remplie de liquide, de l'oreille moyenne qui elle est remplie d'air.
Canaux semi-circulaires
Enclume
Marteau
Étrier
Fenêtre ovale
Nerfs
Appareil vestibulaire
Conduit auditif
Labyrinthe
Cochlée
Membrane tympanique
Jugulaire interne
Fenêtre ronde
Vers le pharynx
Trompe d'Eustache



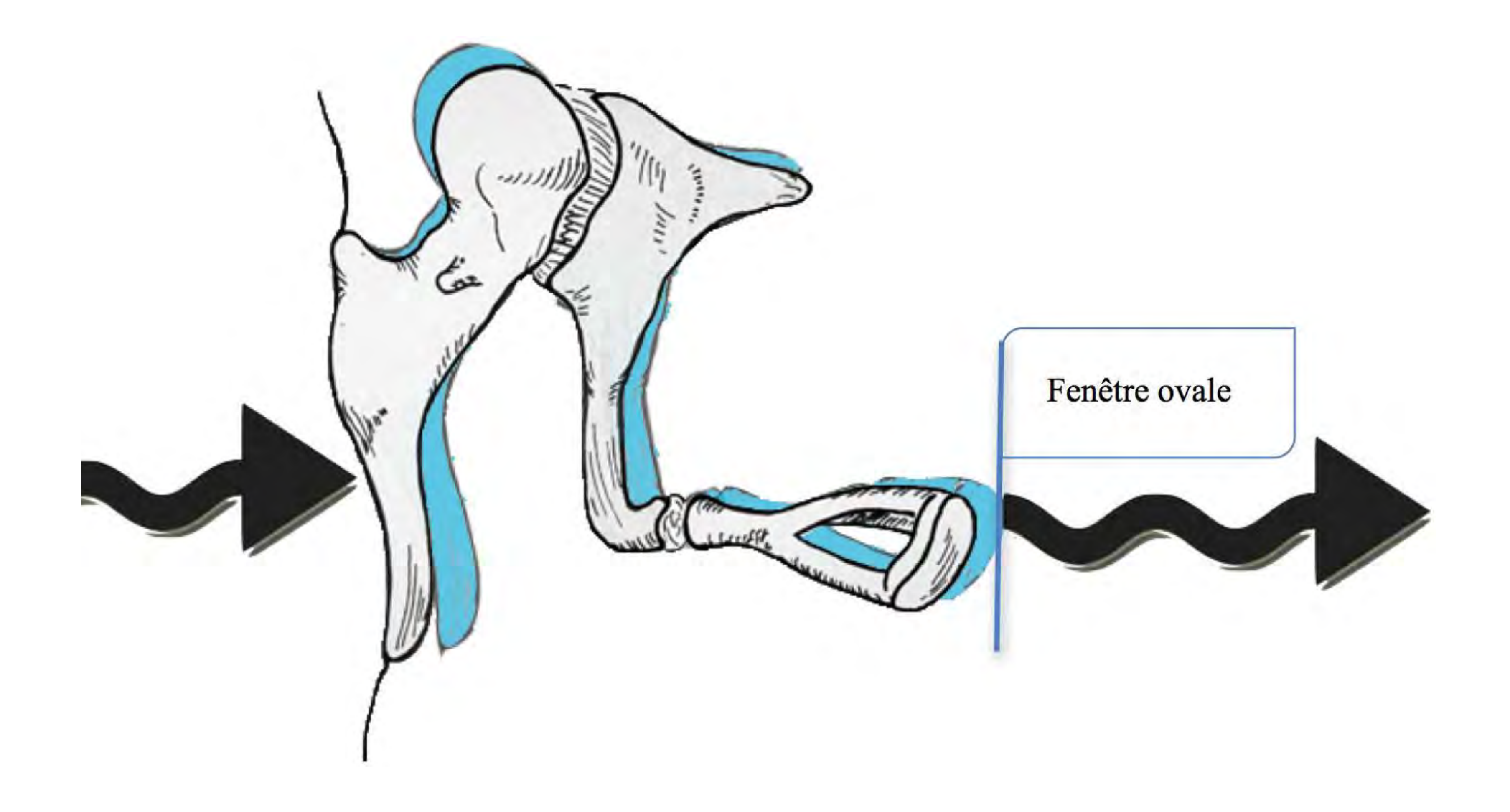
8 canaux semi-circulaires
9 Cochlée
10 Nerf cochléaire



1. Canal antérieur
2. Ampoule (du même canal)
3. Ampoule (canal horizontal)
4. Saccule
5. Canal cochléaire
6. Hélicotrème
7. Canal latéral (horizontal)
8. Canal postérieur
9. Ampoule (canal postérieur)
10. Fenêtre ovale
11. Fenêtre ronde
12. Rampe vestibulaire
13. Rampe tympanique
14. Utricule

- transmet l'énergie acoustique du tympan à l’oreille interne, en réalisant une
- **adaptation d’impédance** entre un milieu aérien et un milieu liquidien.
- L’oreille moyenne est un amplificateur de pression : de cette manière elle « récupère » l’énergie acoustique disponible dans le milieu aérien et augmente l’amplitude des stimuli mécano acoustiques dans l’oreille interne.

Chaine des osselets

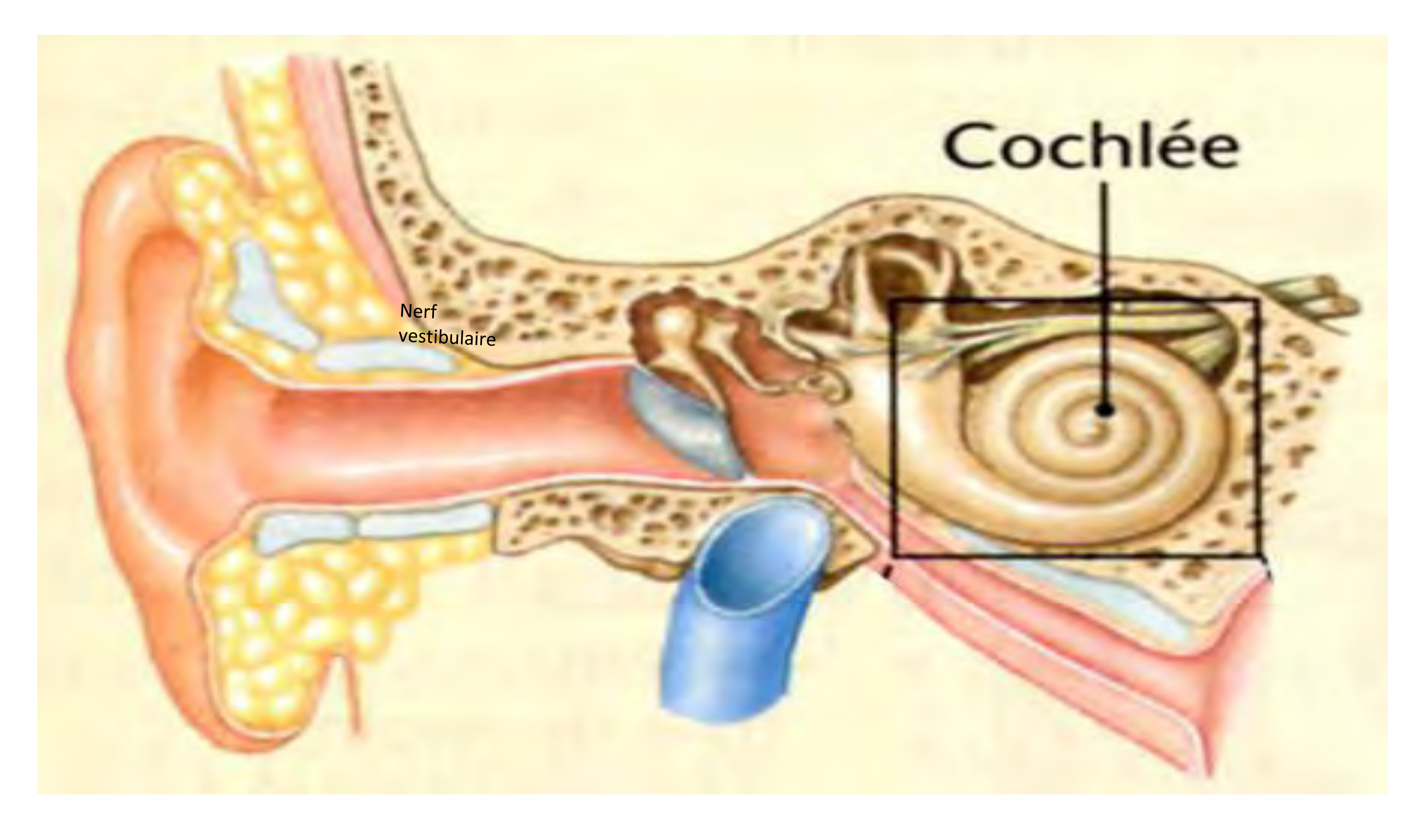


- A partir de 80 dc ,un reflexe protecteur(stapedien)est mis en place:
- La contraction du muscle stapedien bloque la chaine des osselets et attenue les amplitudes des vibration transmises à la fenêtre ovale.

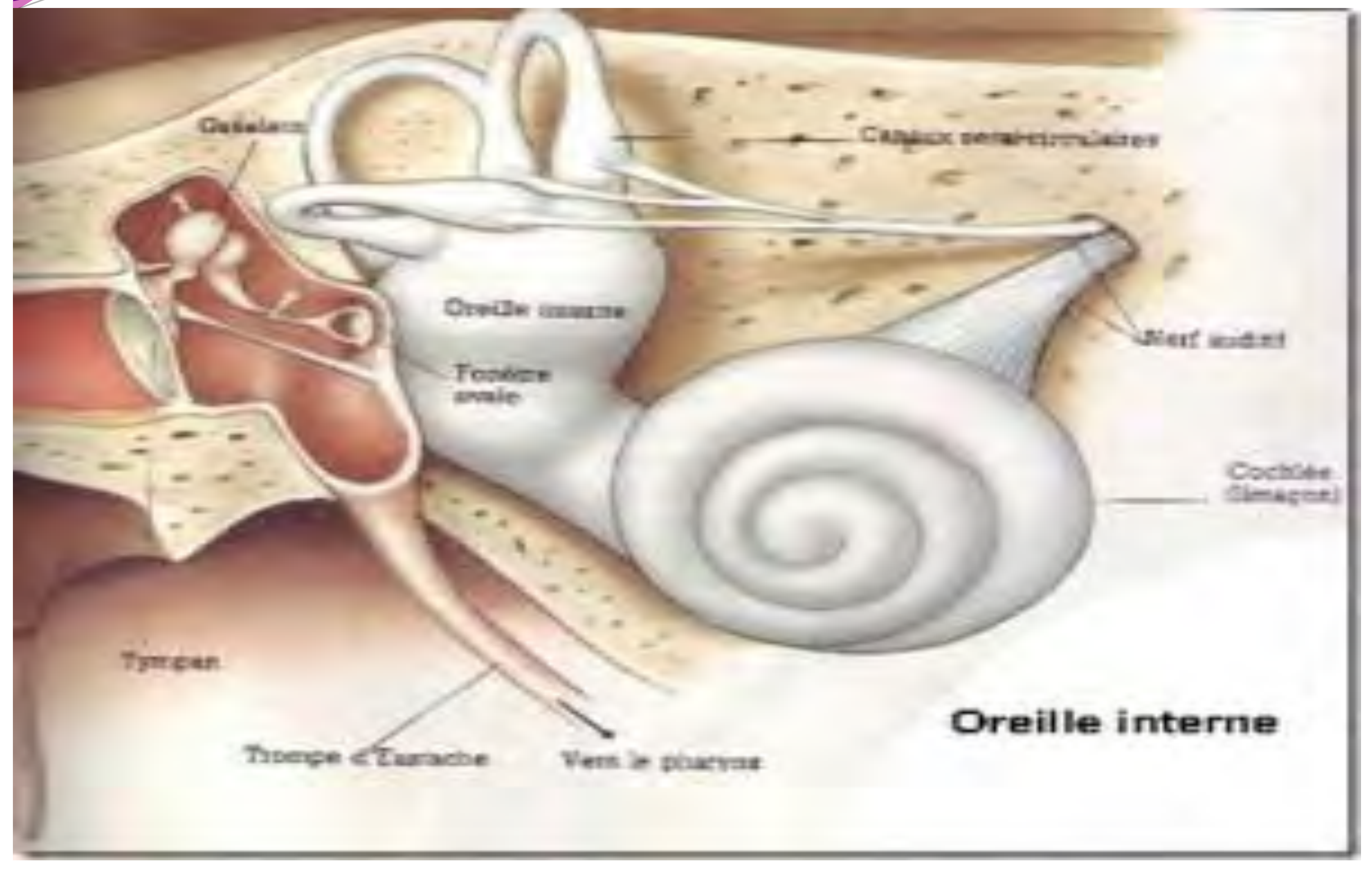
Oreille interne

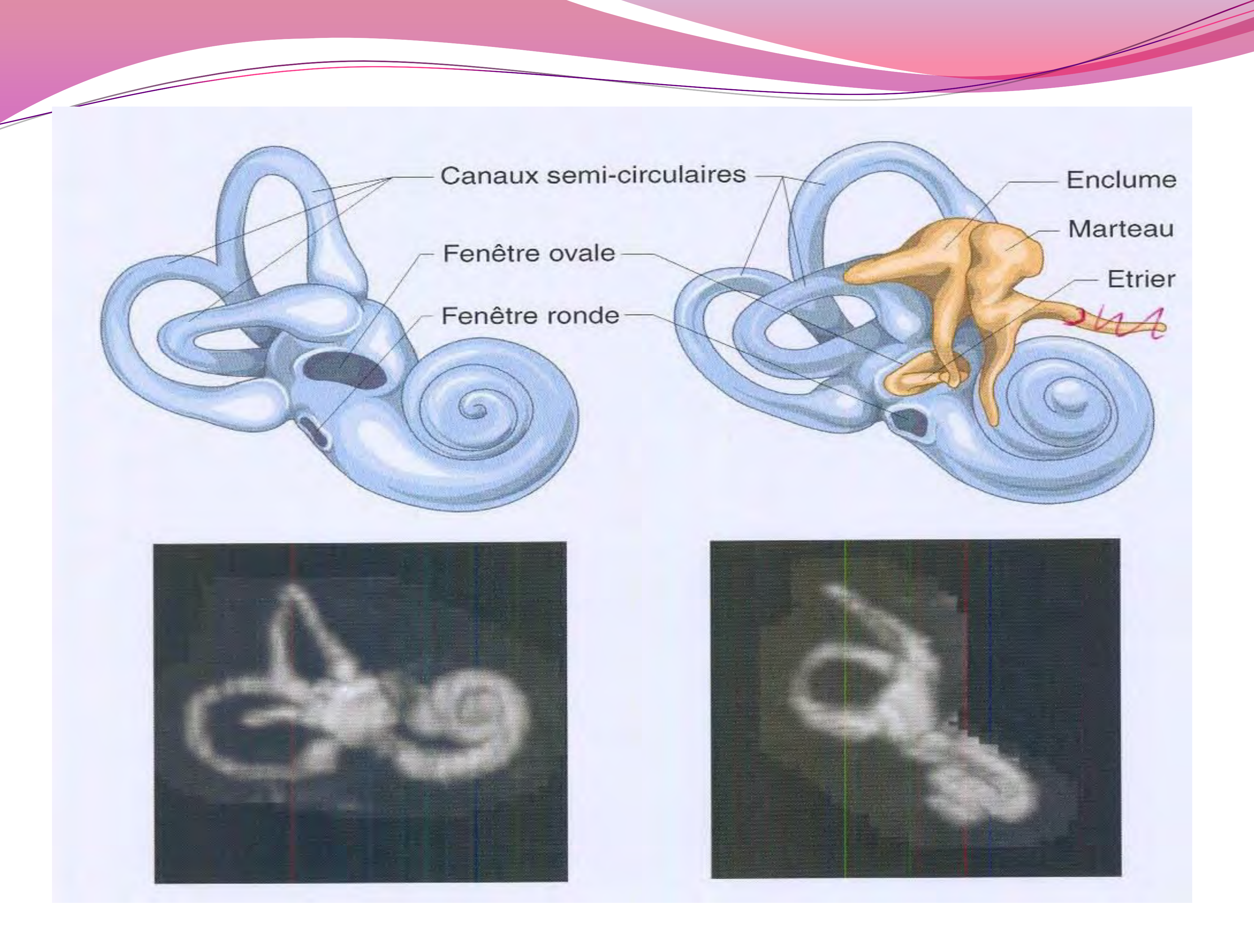
- formée d’un système complexe de canaux.
- comprend deux parties principales : le labyrinthe osseux qui contient le labyrinthe membraneux
- Le labyrinthe osseux est une série de cavités creusées dans le rocher de l’os temporal. On peut
- le subdiviser en 3 régions :
- **Les canaux semi-circulaires et le vestibule: les récepteurs de l’équilibre**
- **la cochlée, qui renferment les récepteurs de l’audition**

Oreille interne



Oreille interne

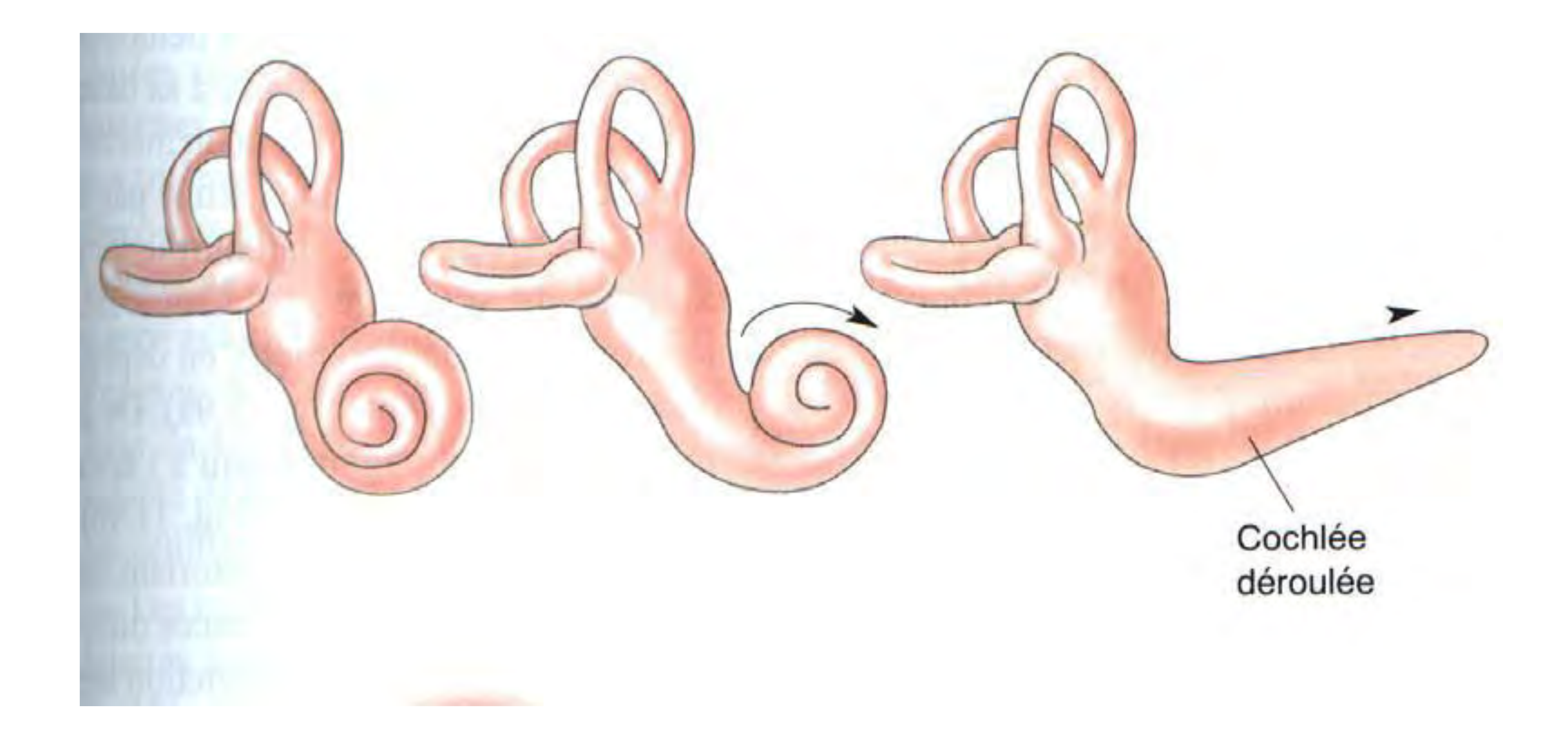



Canaux semi-circulaires
Fenêtre ovale
Fenêtre ronde
Enclume
Marteau
Etrier

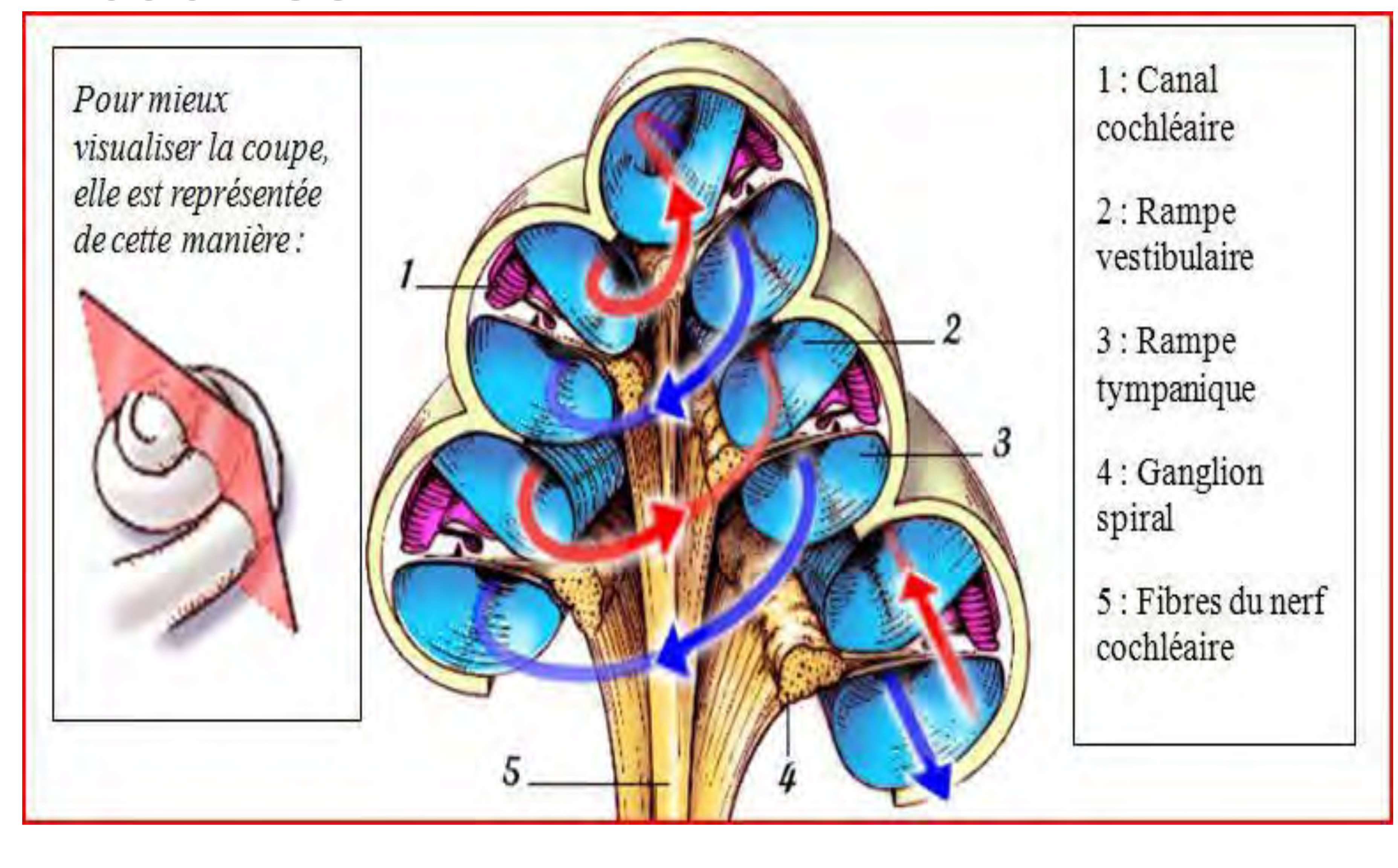
cochlée

- La cochlée est un canal osseux en forme de spirale qui effectue 2tours et demi autour d'un pilier osseux
- Le tube cochléaire apparaît divisé en trois canaux, la **Rampe Vestibulaire, la RampeTympanique et la Rampe Médiane ou canal cochléaire qui gardent la même disposition spatiale**
- . La rampe vestibulaire débouche sur la fenêtre ovale
- la rampe tympanique débouche sur la fenêtre ronde. Ces deux rampes sont remplies de **périlymphe** liquide de type extracellulaire .
- Le canal cochléaire contient un liquide :**l'endolymphe, de type intracellulaire très riche en K**

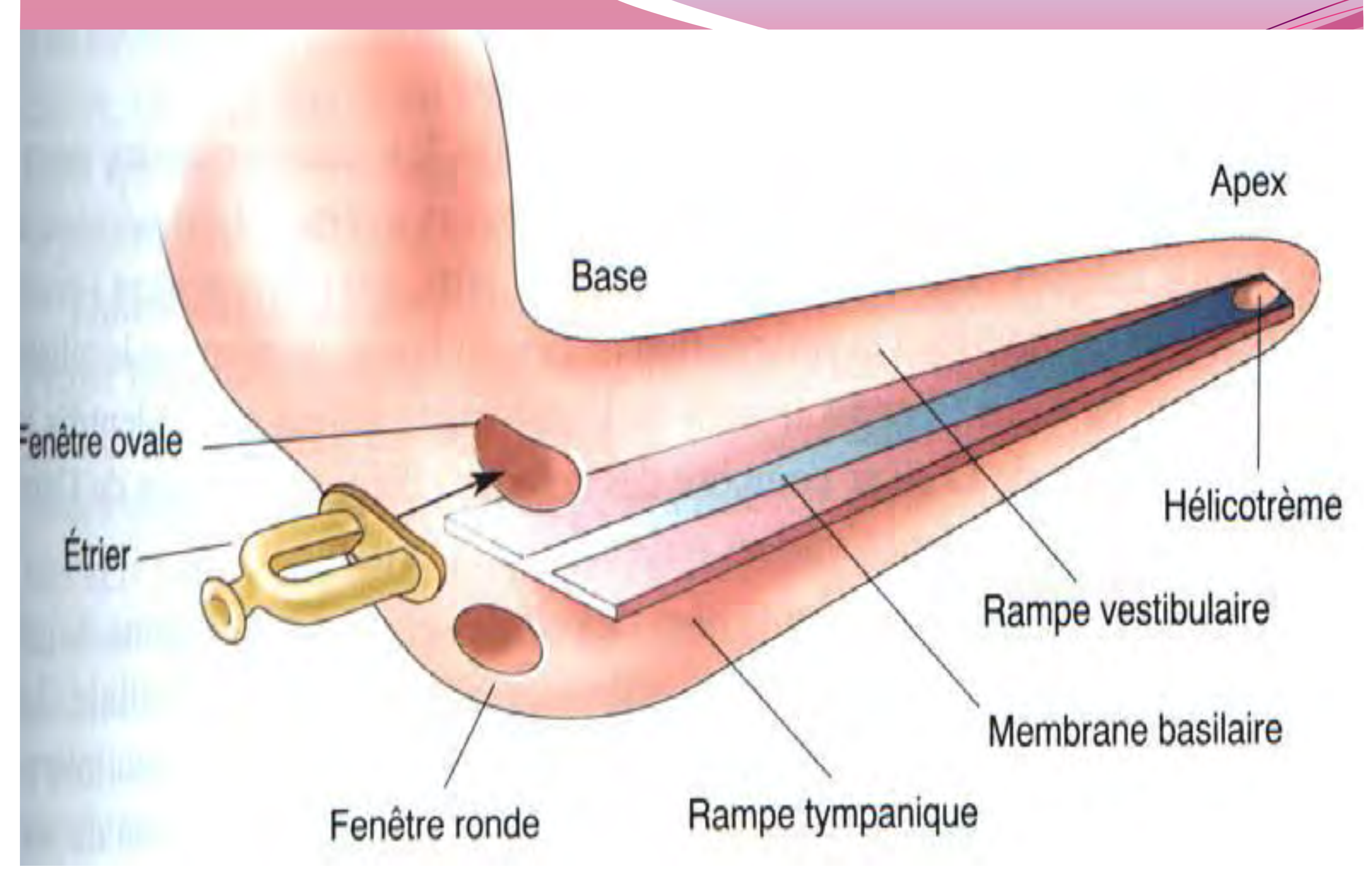
Cochlée déroulée



cochlée



Pour mieux visualiser la coupe, elle est représentée de cette manière :
1
2
3
4
5
1 : Canal cochléaire
2 : Rampe vestibulaire
3 : Rampe tympanique
4 : Ganglion spiral
5 : Fibres du nerf cochléaire

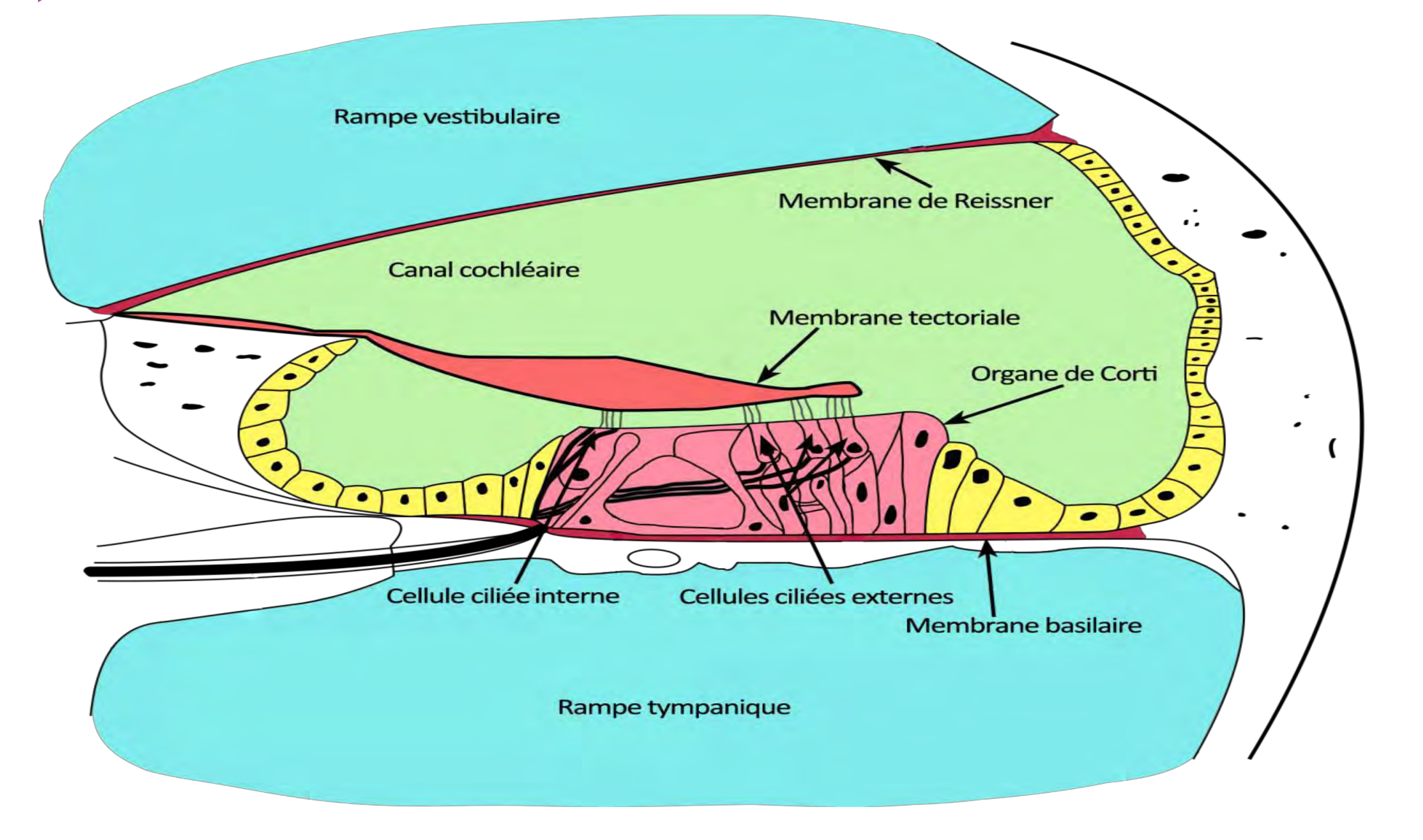

Apex
Base
Fenêtre ovale
Étrier
Hélicotrème
Rampe vestibulaire
Membrane basilaire
Fenêtre ronde
Rampe tympanique

Canal cochléaire
Rampe vestibulaire
Cellules ciliées externes (CCE)
Membrane tectoriale
Organe de Corti
Cellules ciliées internes (CCI)
Membrane basilaire
Rampe tympanique
Membrane basilaire
Ganglion spiral
Nerf auditif

Organe de corti

- Recepteur auditif
- Situé dans le canal cochléaire et repose sur la membrane basilaire
- Constitué de c réceptrices primaires disposées autour du tunnel de corti
- 1 rangées de 3500 cellule c auditives interne et 3 rangées de:4000 cellules auditives externes et de la membrane tectorielle.

Organisation de la cochlée



A

mise en couleur inhomogène ?

Membrane vestibulaire de Reissner

Rampe vestibulaire

Strie vasculaire

Canal cochléaire

Membrane tectoriale

Cellules ciliées externes

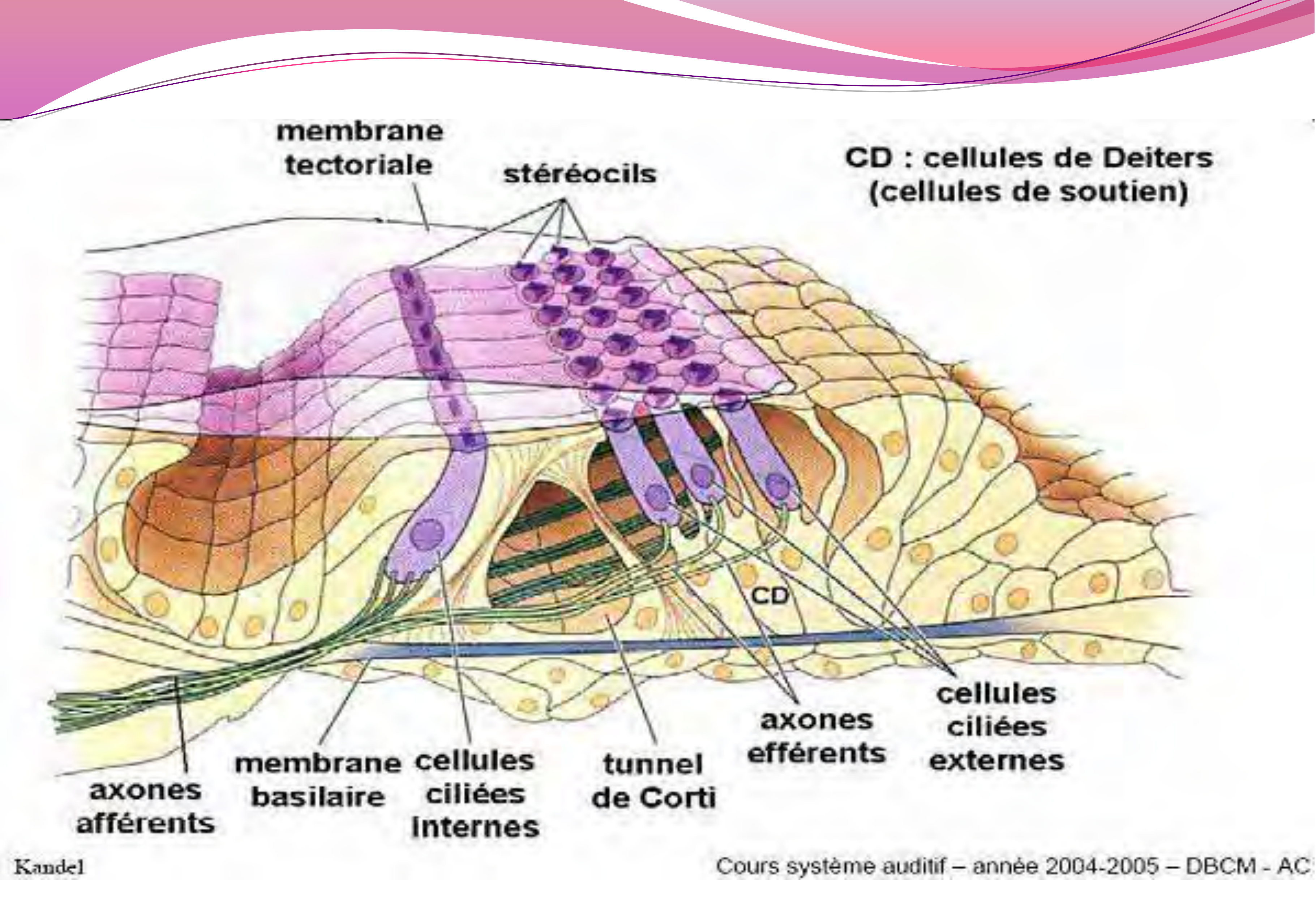
Cellule ciliée interne

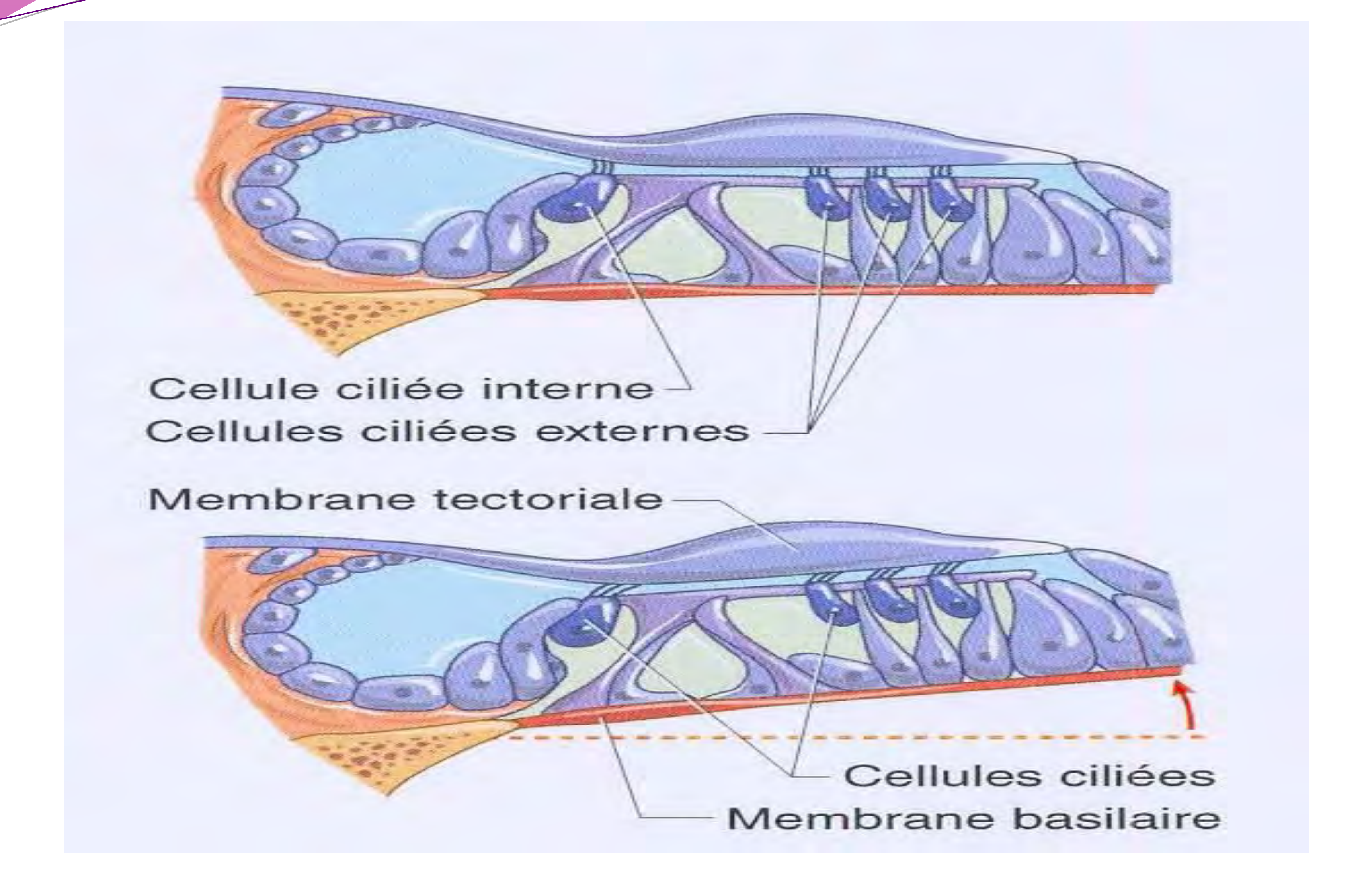
Ganglion spiral

Tunnel de Corti

Rampe tympanique

Membrane basilaire

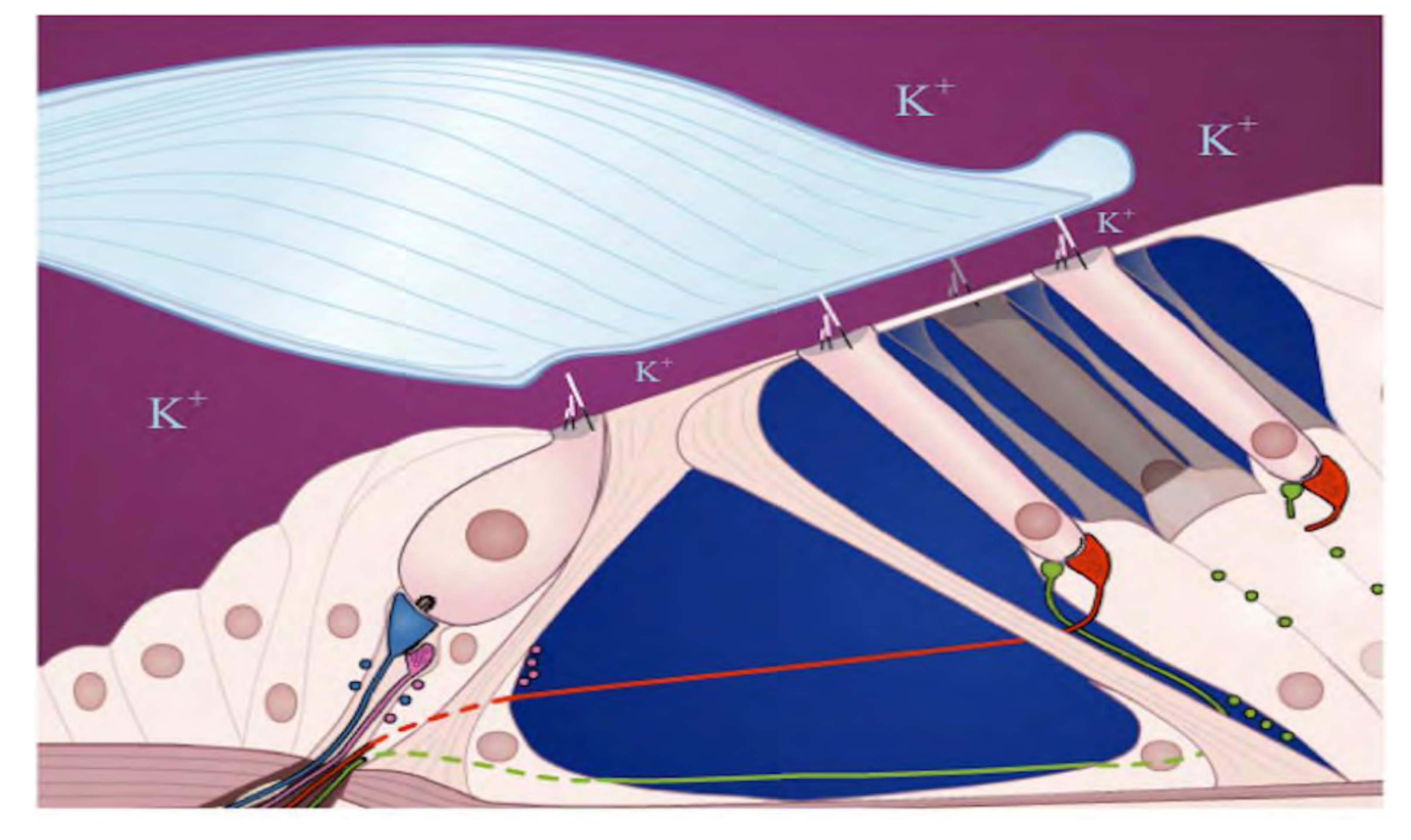

membrane tectoriale
stéréocils
CD : cellules de Deiters
(cellules de soutien)
CD
axones afférents
membrane basilaire
cellules ciliées internes
tunnel de Corti
axones efférents
cellules ciliées externes
Kandel
Cours système auditif – année 2004-2005 – DBCM - AC


Cellule ciliée interne
Cellules ciliées externes
Membrane tectoriale
Cellules ciliées
Membrane basilaire

	La périlymphe	L'endolymphe
Na+	150	1
K+	7	150
Cl-	110	130
Pr	1g/l	0,3g/l

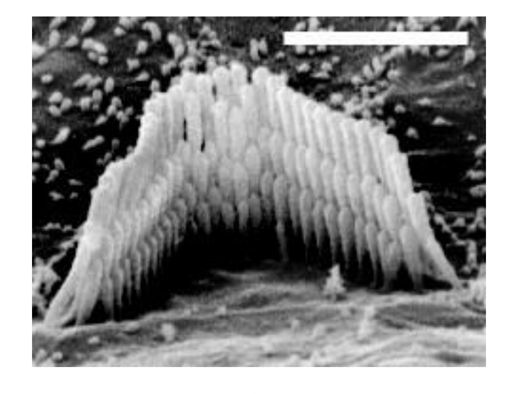
Composition ionique (nM/l)

LE POTENTIEL ENDOLYMPHATIQUE EST DE 80 Mv DEPEND D'UNE SECRETION ACTIVE DE K+ PAR LA STRIE VASCULAIRE ;
LA DDP EXISTANT ENTRE LE MILIEU INTRACELLULAIRE ET MILIEU ENDOLYMPHATIQUE EST IMPORTANTE (150mV)
-IMPORTANCE POUR LES PHENOMENES DE TRANSDUCTION DES CELLULES CILIÉES SENSORIELLES

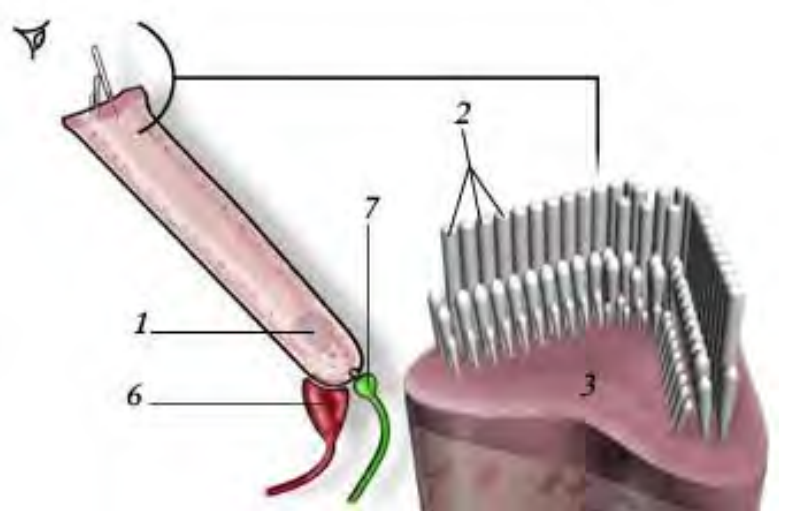

K+
K+
K+
K+
K+

Cellules auditives

- Nommée cellule ciliées :leur pôle apical comporte 3 rangées de cils en contact avec l'endolymphe
- Alignées pour les internes
- En V pour les externes
- Les cils les plus externes ou kinocilium sont grands et sont attachés à la membrane tectorielle.
- L'éxtremité de chaque cil est attachée par des liens; tip links à l'éxtrémité de l'autre cil



CCE :organisation des stereocil en W



3500 CCI et 12500 CCE

1 : noyau

2 : stereocil

3 : plaque cuticulaire

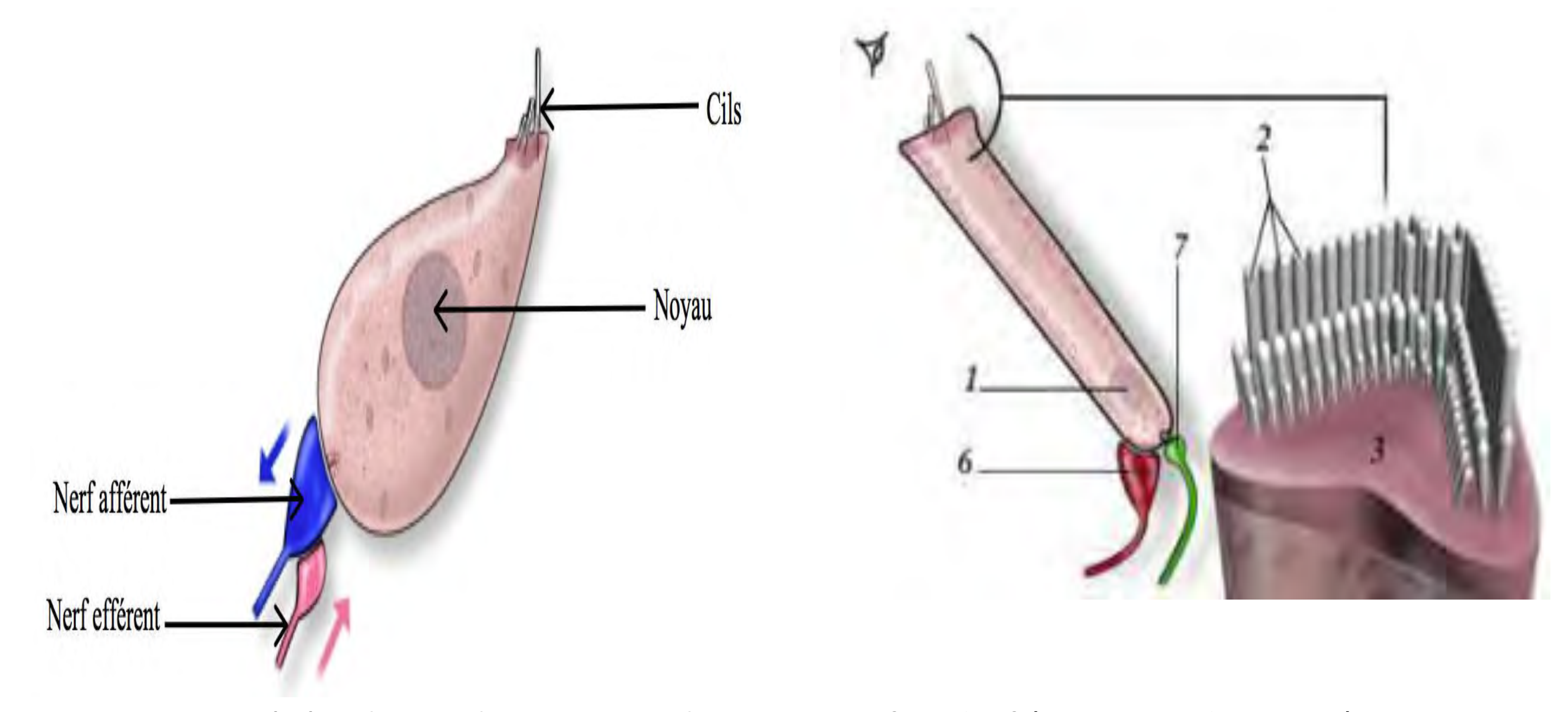
4 : nerf auditif (neurone type I)

5 : efferences laterales

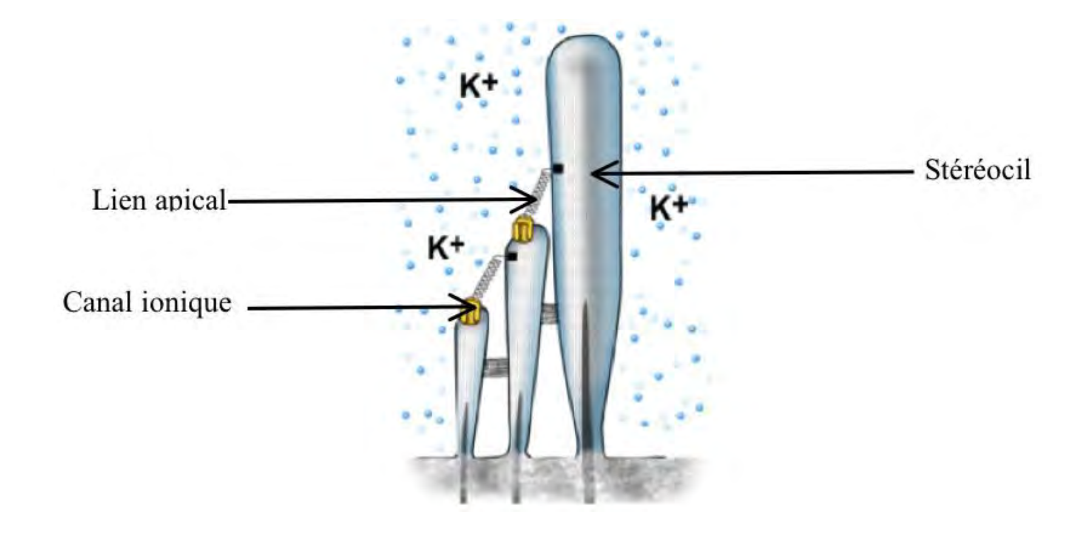
6 : efferences medianes

7 : nerf auditif (neurones type II)

Cellules ciliées



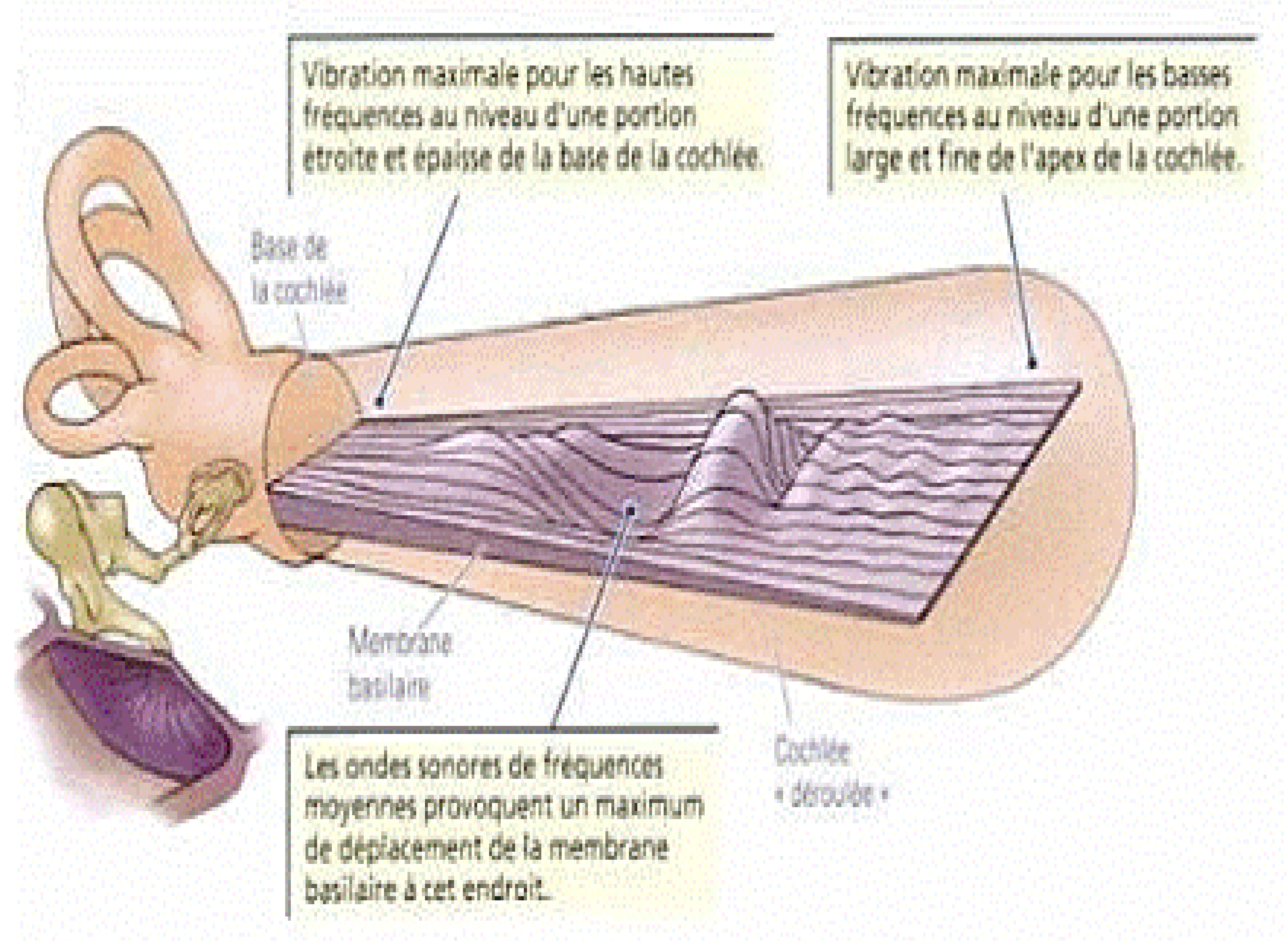
1. Noyau, 2. Stéréocils, 3. Plaque cuticulaire, 4. Nerf auditif (neurone de type I), 5. Efférence latérale, 6. Efférence médiane, 7. Nerf auditif (neurone de type II)


K+
Lien apical
Stéréocil
K+
K+
Canal ionique

- Au pole basal de la cellule se trouve des synapses glutaminergiques aves les dendrites des cellules sensorielles secondaires
- Des synapse cholinergiques avec des axones afférents venant de fibres centrifuges.

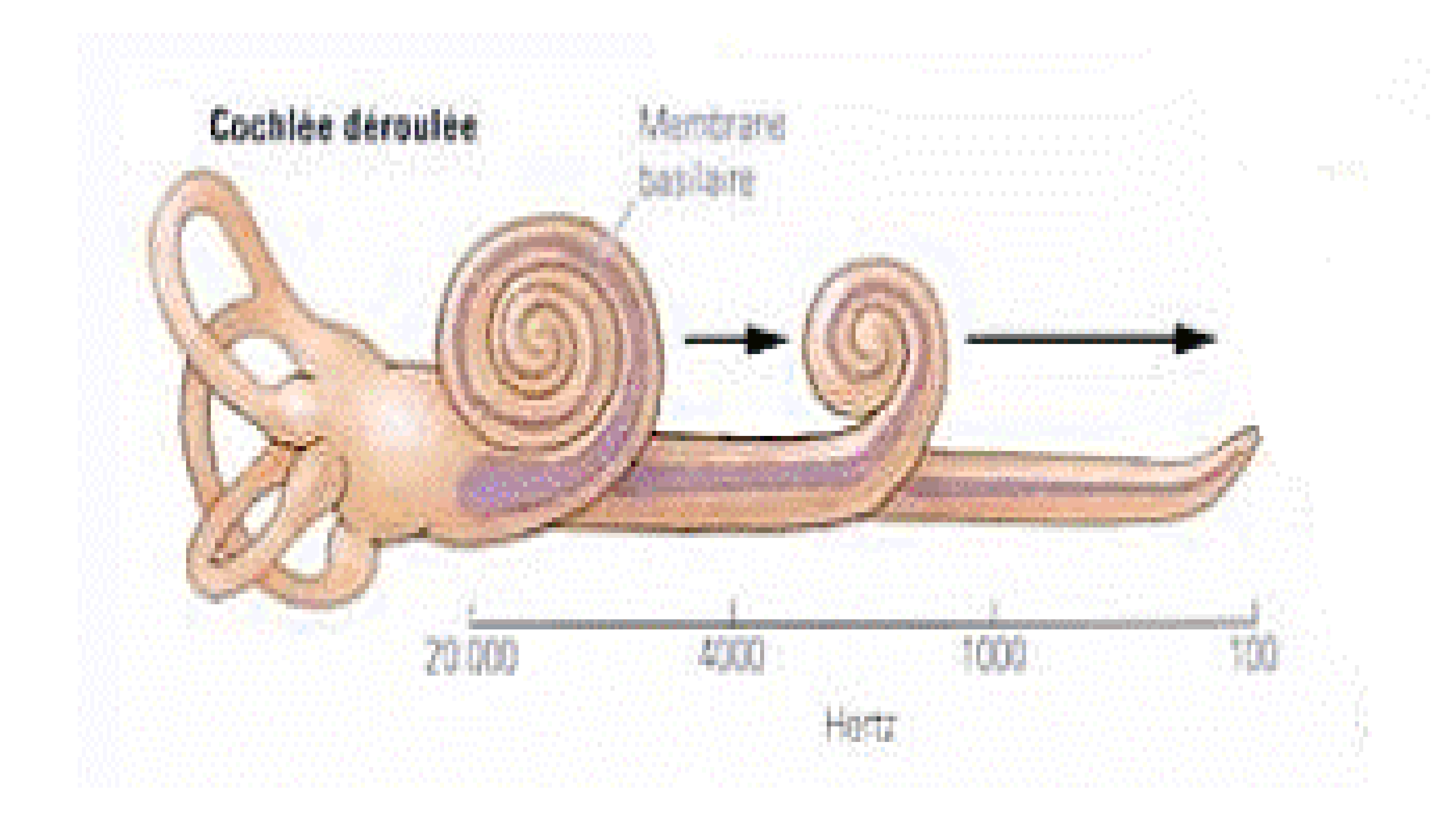
Propagation des ondes sonores

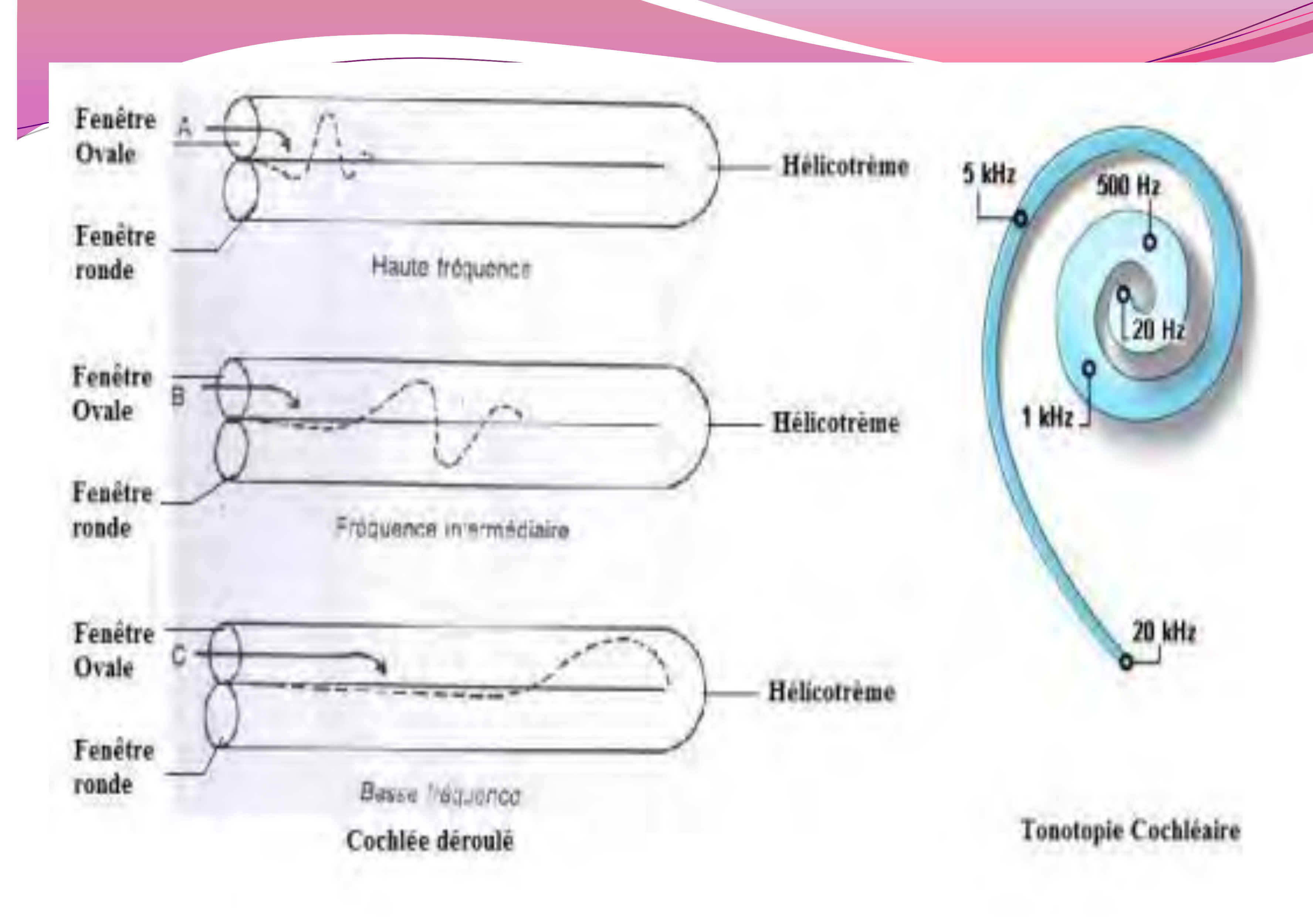
- **1) Le pavillon dirige les ondes sonores dans le conduit auditif externe.**
- **2) Lorsque les ondes sonores frappent la membrane tympanique (tympan), elle vibre d’avant en arrière.**
- **L’amplitude dépend de la fréquence et de la force des ondes sonores qui la frappent. vibre lentement pour les sons de faible fréquence et elle vibre rapidement en réponse à des sons de haute fréquence.**
- **3) La région centrale de la membrane tympanique est reliée au marteau qui se met à vibrer.**
- **Les variations sont ensuite transférées à l’enclume puis à l’étrier.**
- **4) Le mouvement d’avant en arrière de l’étrier pousse la membrane de la fenêtre ovale vers l’intérieur et vers l’extérieur.**
- **5) Le mouvement de la fenêtre ovale engendre des ondes hydrauliques dans la périlymphe de la cochlée.**
- **Les vibration sonores font donc la membrane basilaires en fonction de l’amplitude du son.**


Vibration maximale pour les hautes fréquences au niveau d'une portion étroite et épaisse de la base de la cochlée.
Vibration maximale pour les basses fréquences au niveau d'une portion large et fine de l'apex de la cochlée.
Base de la cochlée
Membrane basilaire
Les ondes sonores de fréquences moyennes provoquent un maximum de déplacement de la membrane basilaire à cet endroit.
Cochlée « déroulée »

Tonotopie cochléaire

- Les ondes sonores de fréquences variées entraînent certaines régions de la membrane basilaire à vibrer plus que d'autre.
- La membrane basilaire est plus étroite mais plus rigide à la base de la cochlée ; les sons de haute fréquence induisent des vibrations maximales dans cette région.
- Vers l'apex de la cochlée, la membrane basilaire est plus large mais plus flexible
- les sons de basse fréquence entraînent une vibration maximale de la membrane basilaire dans cette région

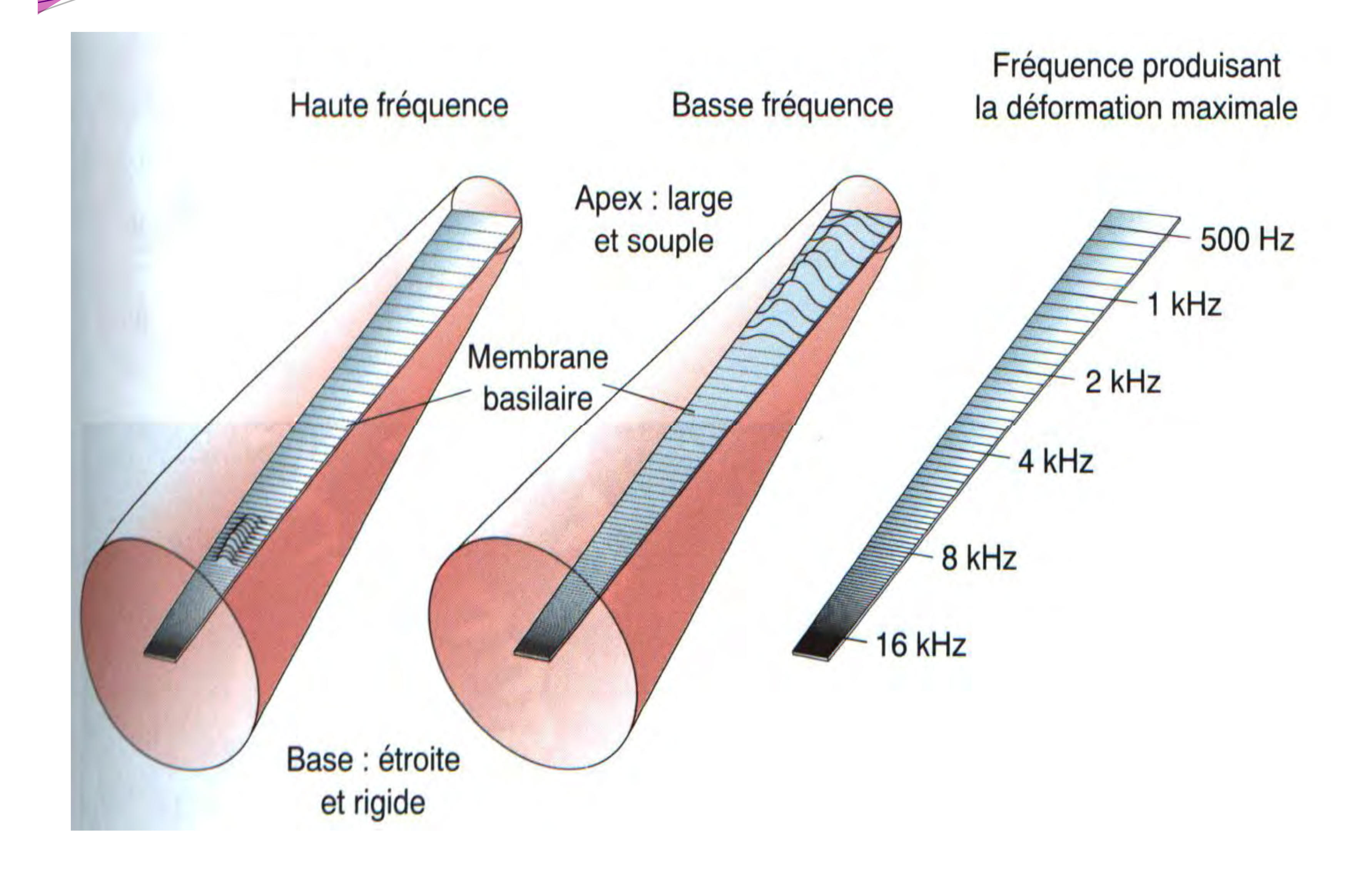

Cochlée déroulée
Membrane basilaire
20 000
4000
1000
100
Hertz



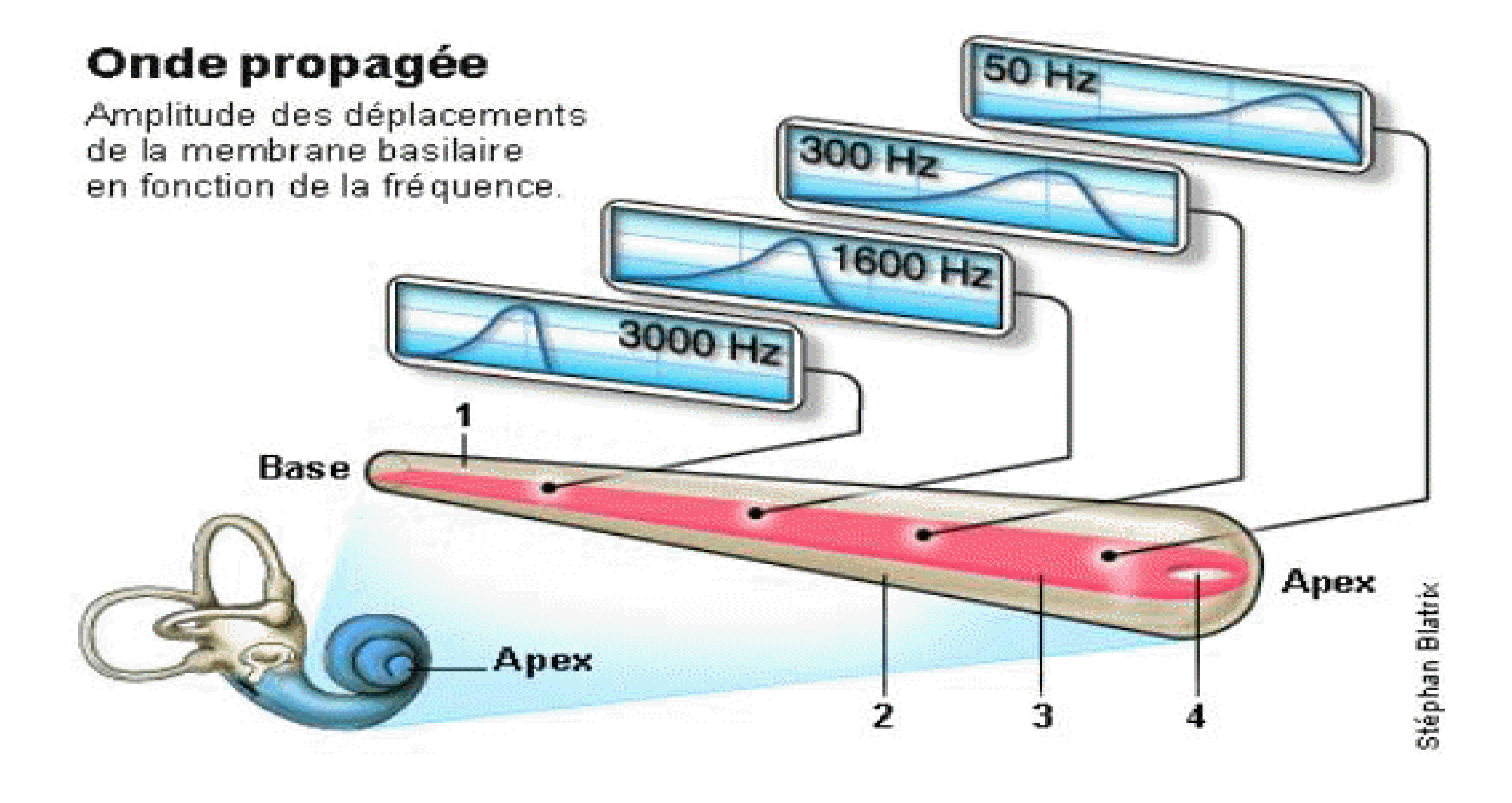
Cochlée déroulé

Tonotopie Cochléaire

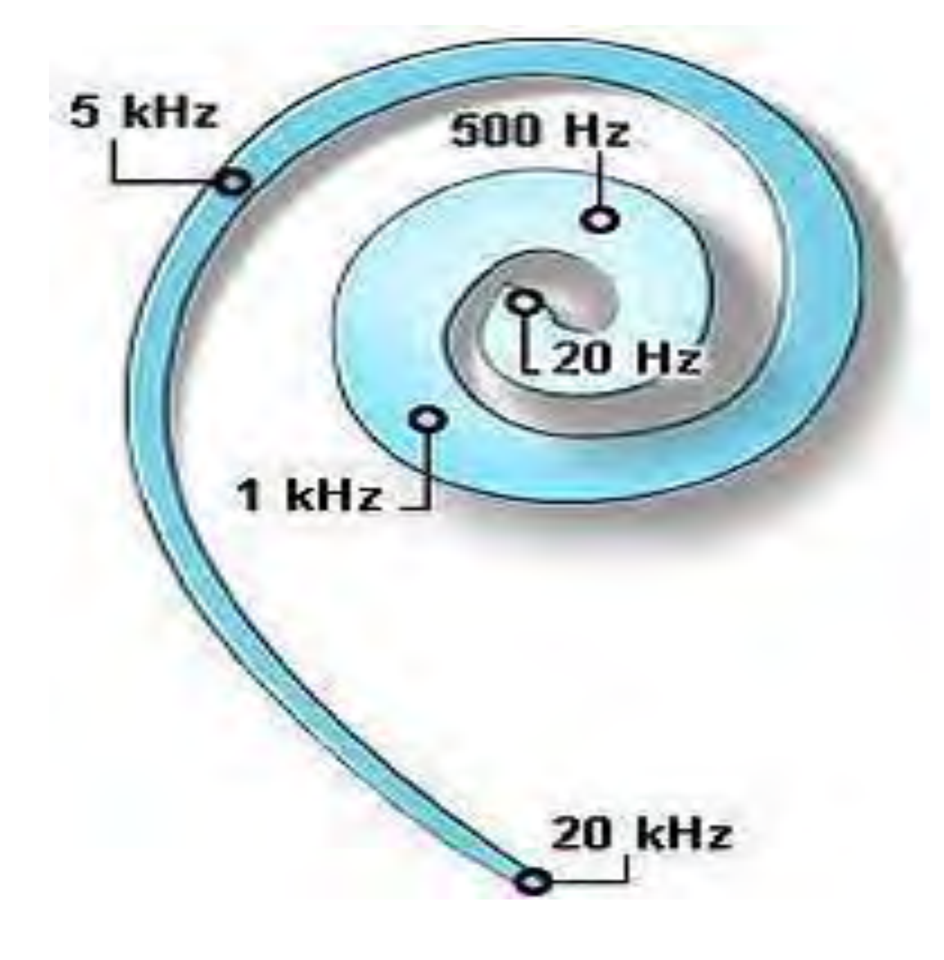
Tonotopie passive



Tonotopie passive



Tonotopie passive



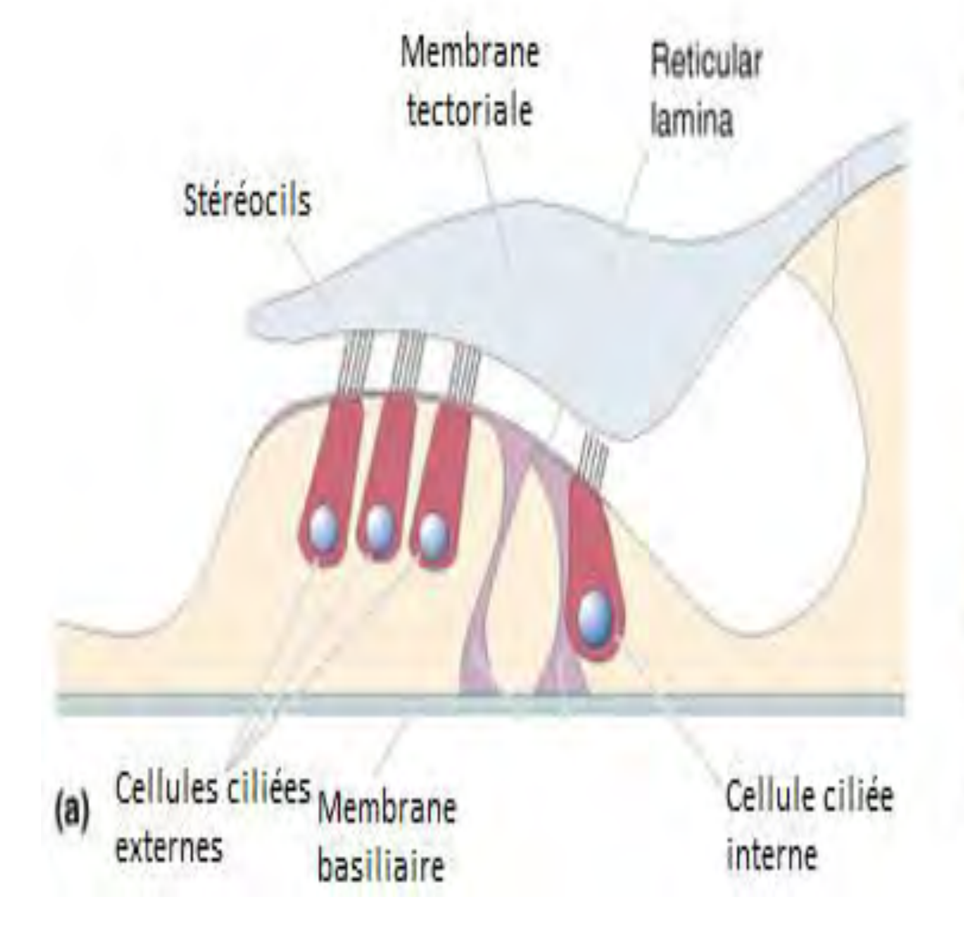
- Le codage des sons va dépendre de la position sur la membrane basilaire des cellules sensorielles qui sont identiques de la base à l’apex.

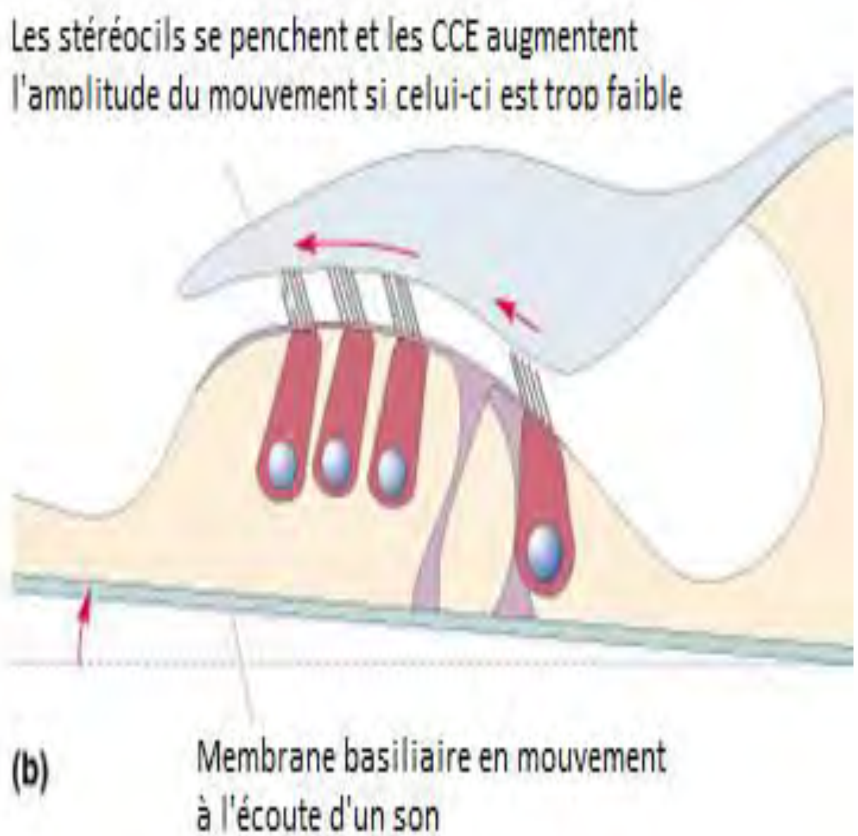
Transduction du signal par les cellules ciliées

- Le déplacement de l'onde propagée
- Mouvements de cisaillement entre la membrane basilaire et la membrane tectoriale sus jacente
- Les stéréo cils des cellules sensorielles sont le siège de la transduction mécano-électrique,
- Déflection des cils des stériocils des cc
- Modification du potentiel de membrane des cc
- L'inclinaison des stériocils vers l'exterieur entraine l'ouverture des canaux K permet l'entrer du K selon le gardent électrique
- Ddp entre l'endolympe et périlymphe : +80
- DDP entre périlymphe et cc : -90

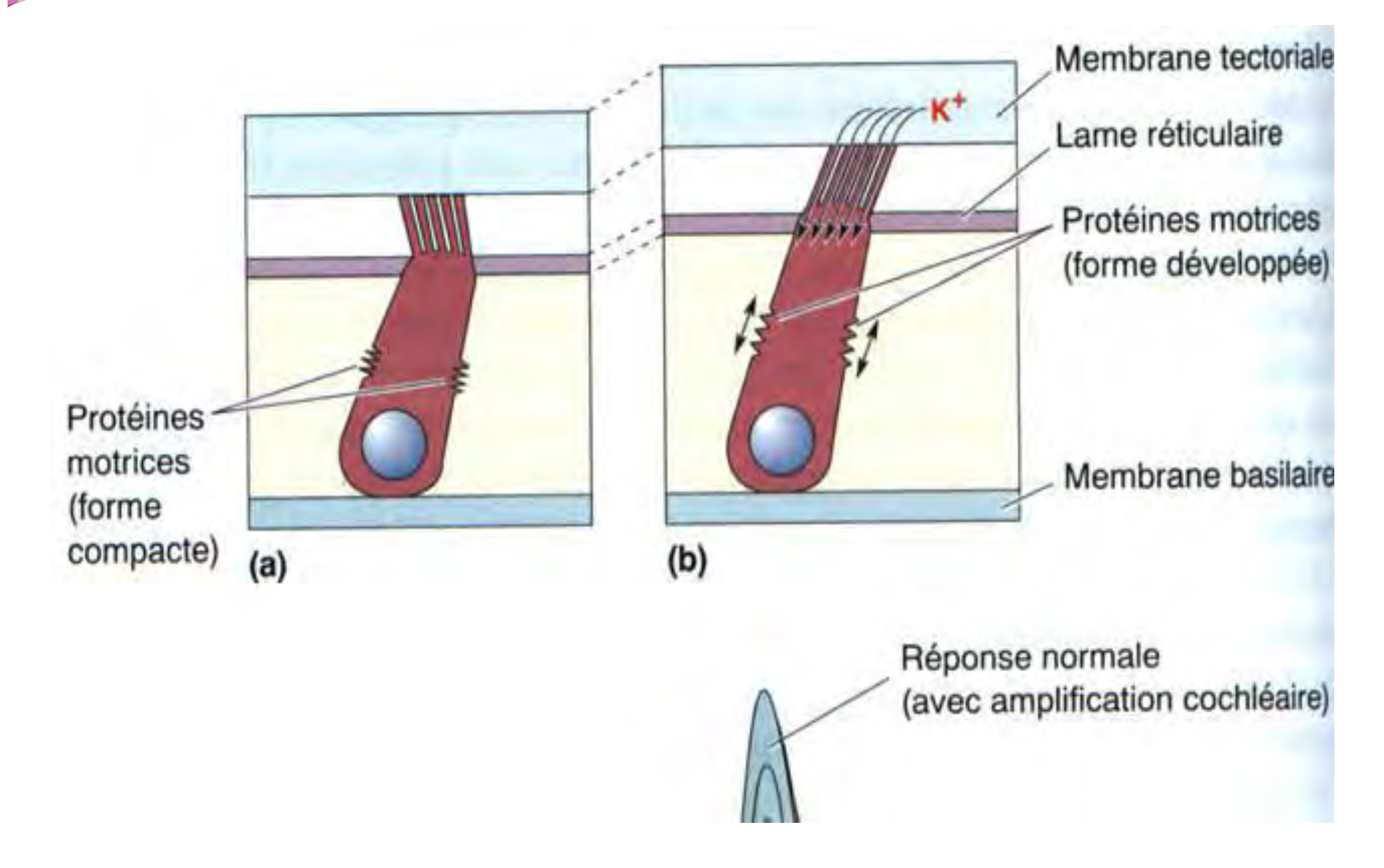
Donc ddp entre endolymphe et cc :-150

Entrée du k entraine une dépolarisation des cc


Membrane
tectoriale
Reticular
lamina
Stéréocils
(a)
Cellules ciliées
externes
Membrane
basiliaire
Cellule ciliée
interne

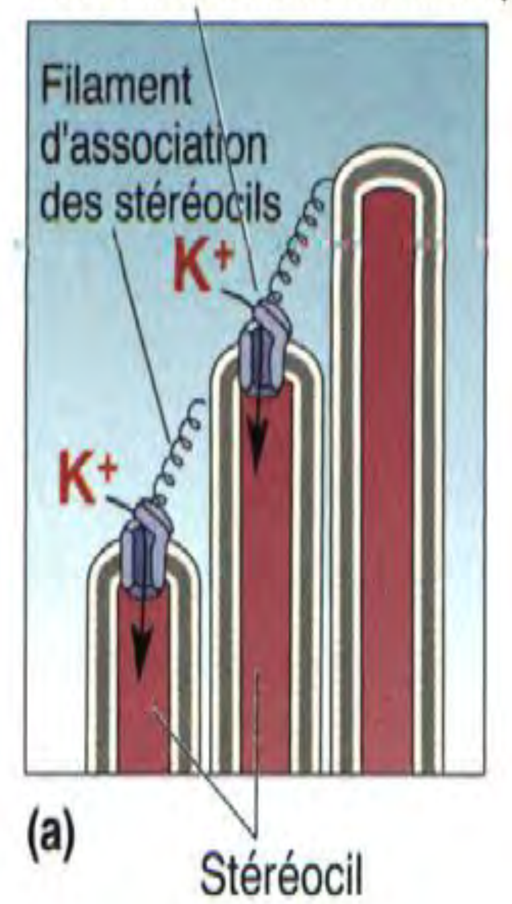

Les stéréocils se penchent et les CCE augmentent
l'amplitude du mouvement si celui-ci est trop faible
(b)
Membrane basiliaire en mouvement
à l'écoute d'un son

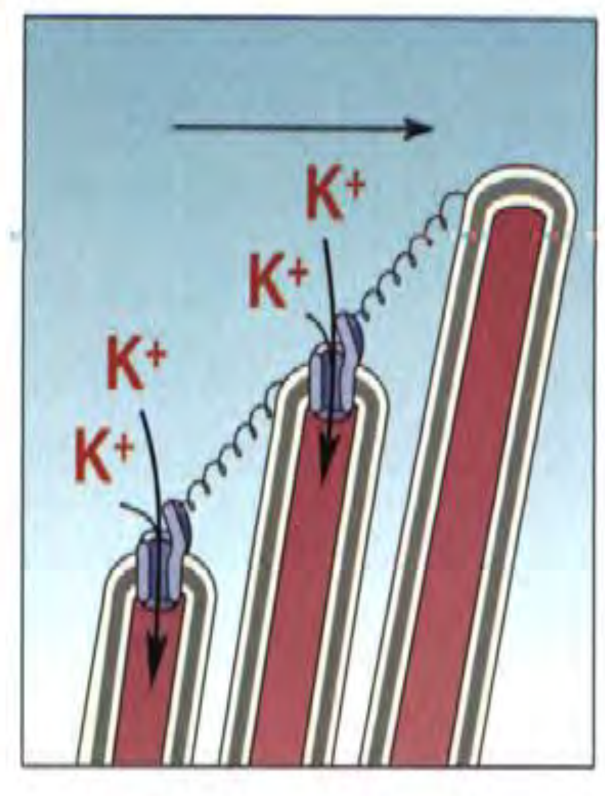

← Vers l'intérieur de l'organe de Corti
Vers l'extérieur de l'organe de Corti →
1µm

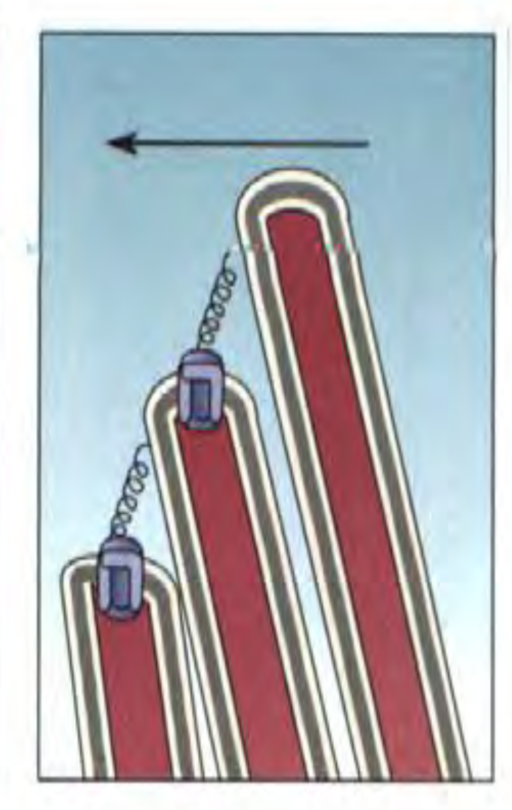


Membrane tectoriale
K+
Lame réticulaire
Protéines motrices
(forme développée)
Membrane basilaire
Protéines
motrices
(forme
compacte)
(a)
(b)
Réponse normale
(avec amplification cochléaire)

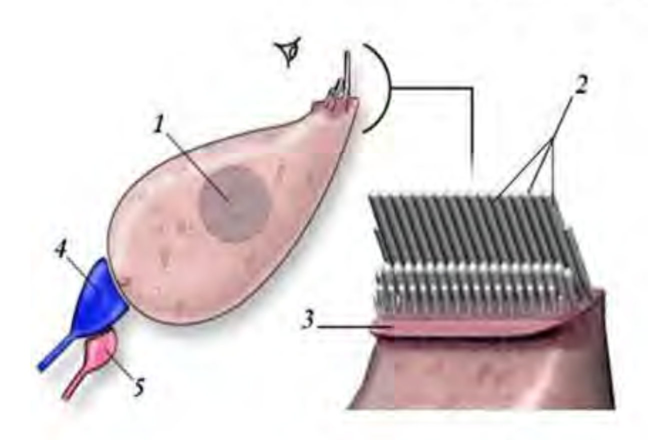
Stériocils des cc



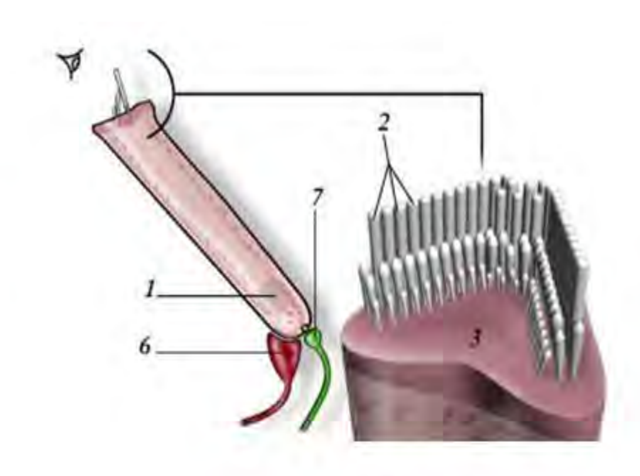




Cellules ciliées



3500



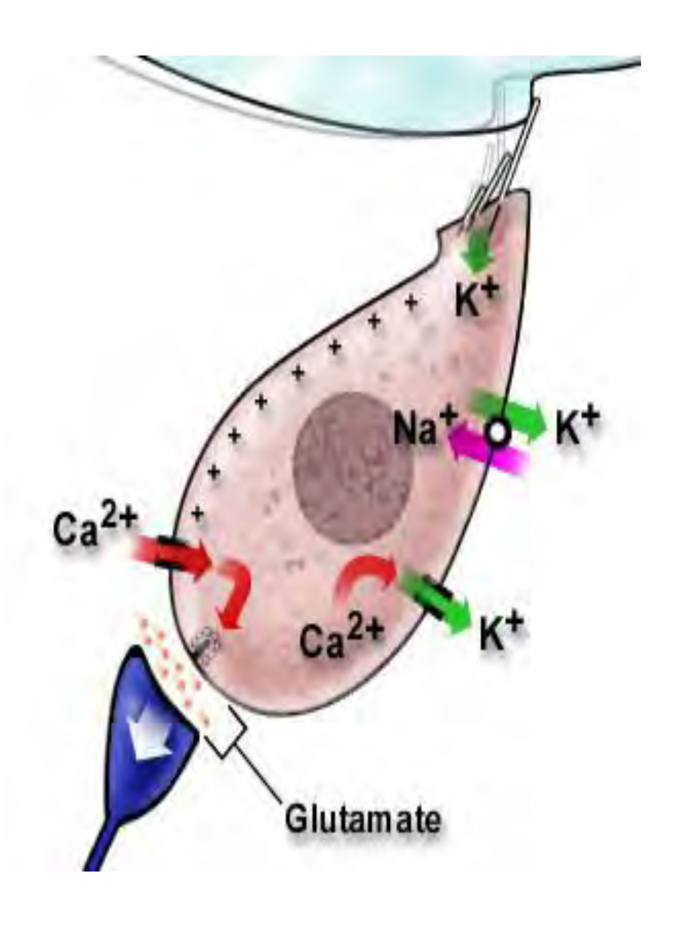
12500

1. Noyau
2. Stéréocils
3. Plaque cuticulaire
4. Nerf auditif (neurone de type I)
5. Efférence latérale
6. Efférence médiane
7. Nerf auditif (neurone de type II)

- **Au niveau des CCI**:
- Véritables cellules sensorielles
- Connectées à la quasi-totalités des neurone de type I
- 95./° des fibres du nerf auditif
- Assure la transduction mécano électrique
- La dépolarisation provoque l'ouverture de canaux calciques sensible au potentiels
- Entrer du ca
- Fusion des vésicules et exocytose du transmetteur :glutamate
- Se fixe sur les récepteur induit un potentiel de récepteur au niveau des fibres auditif afférentes proportionnel à l'amplitude de l'inclinaison des cils.

C C Interne

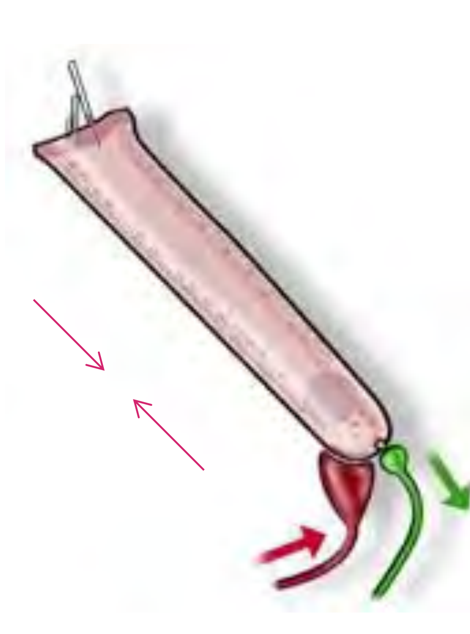
- **-<u>BASCULEMENT DES CILS</u>**
-
- **-<u>ENTREE DE K+</u> AU NIVEAU DU**
- **POLE APICALE**
- ***(GRADIENT ELECTRIQUE)***
-
- **-<u>DEPOLARISATION DE LA CCI</u>**
-
- **-<u>OUVERTURE DES CANAUX CA++</u>**
-
- **-<u>LIBERATION DU NEUROMEDIATEUR</u> *(GLUTAMATE)***
-
- **-<u>SORTIE DU K+</u> À PARTIR DE**
- **CANAUX K+ CA++ DEPENDANT**
- **ETCANAUX K+ VOLTAGE**
- **DEPENDANT *(GRADIENT DE***
- ***CONCENTRATION)***
- **<u>-REPOLARISATION</u> DE LA CCI**



- **Au niveau CCE:**
- La propriété physiologique majeurs des cc est l'éléctromotilité
- Mécanisme actif d'amplification
- Codage de sensibilité et de sélectivité en fréquence
- Coder de manière différentielle les fréquences très proches
- La dépolarisation due à l'entrer du k provoque la contraction des CCE modifie le couplage entre membrane basilaire et tectoriale et amplifie localement les vibrations de la membrane basilaire



CCE



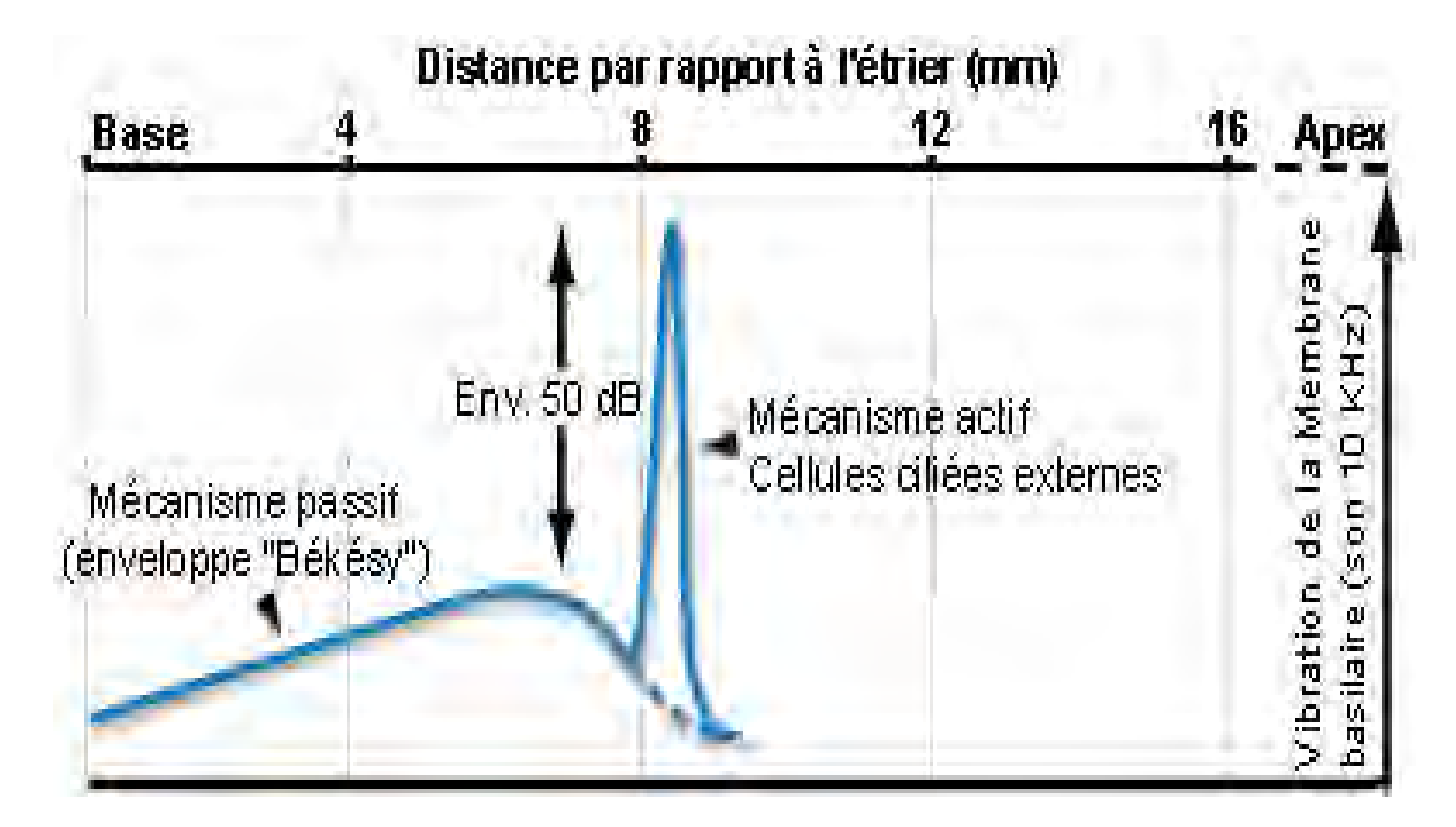
Electromotilité= propriété contractile des CCEs, due à **la prestine** (protéine transmembranaire qui se **raccourcit** lors de la dépolarisation et **allongement**t lors de la repolarisation cellulaire (rôle du cl-) → **variation de longueur de la CCE au rythme de la fréquence acoustique**

amplification des mouvements de la membrane tectoriale →CCI

Action des CCE modulée par le système efférent.

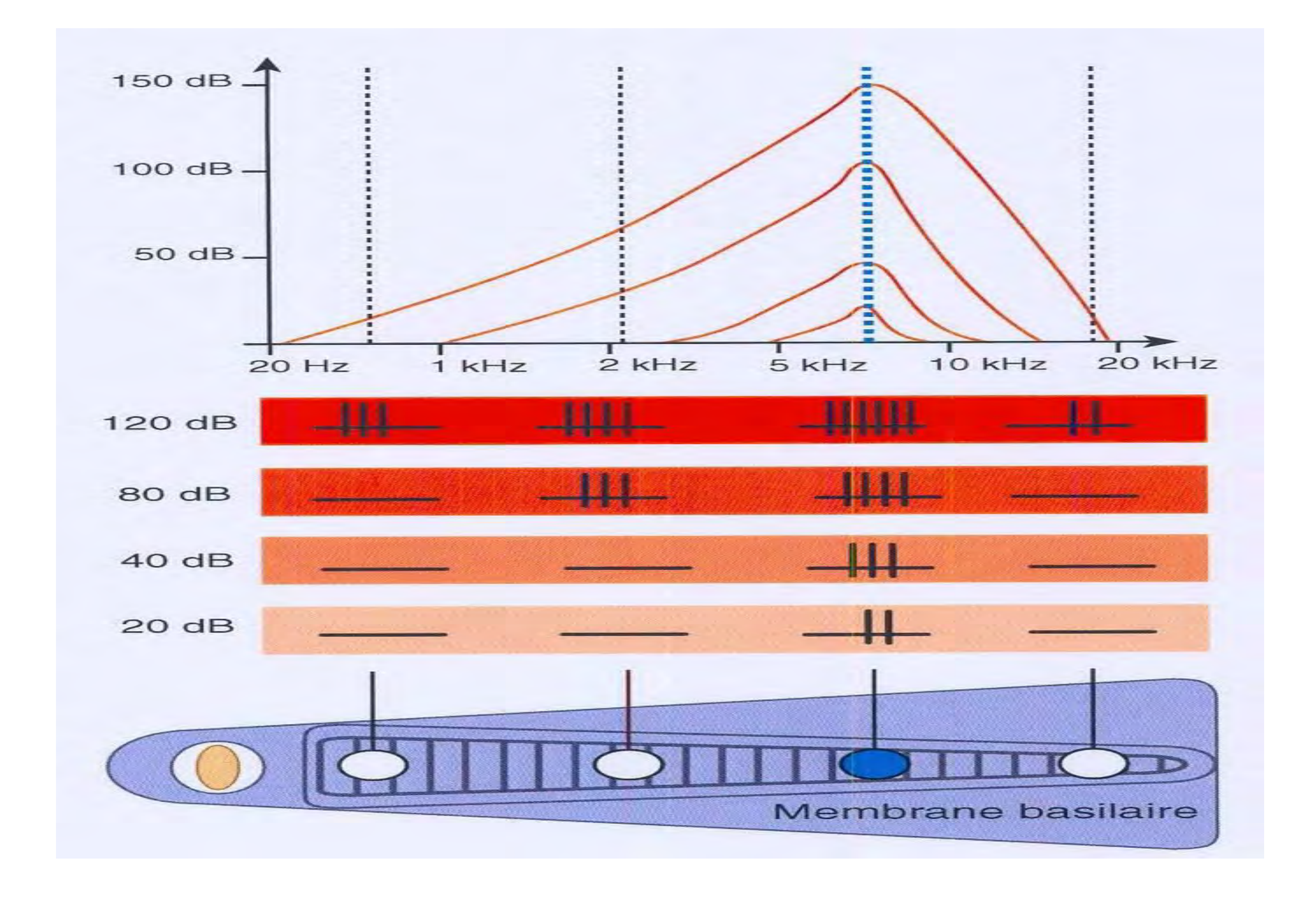
- le mécanisme actif amplifie (env. + 50 dB) la vibration de la membrane basilaire (ce qui augmente la sensibilité de la cochlée) sur une portion très étroite de l'organe de Corti
- Deux fréquences très proches peuvent donc activer deux zones distinctes de la cochlée permettant ainsi de les distinguer l'une de l'autre (sélectivité en fréquences).
- et se retrouve à l'identique au niveau des fibres du nerf auditif auquel il est fidèlement
- transmis par les CCIs par l'intermédiaire de la membrane tectoriale.

CCEs et processus mécaniques actifs de la cochlée

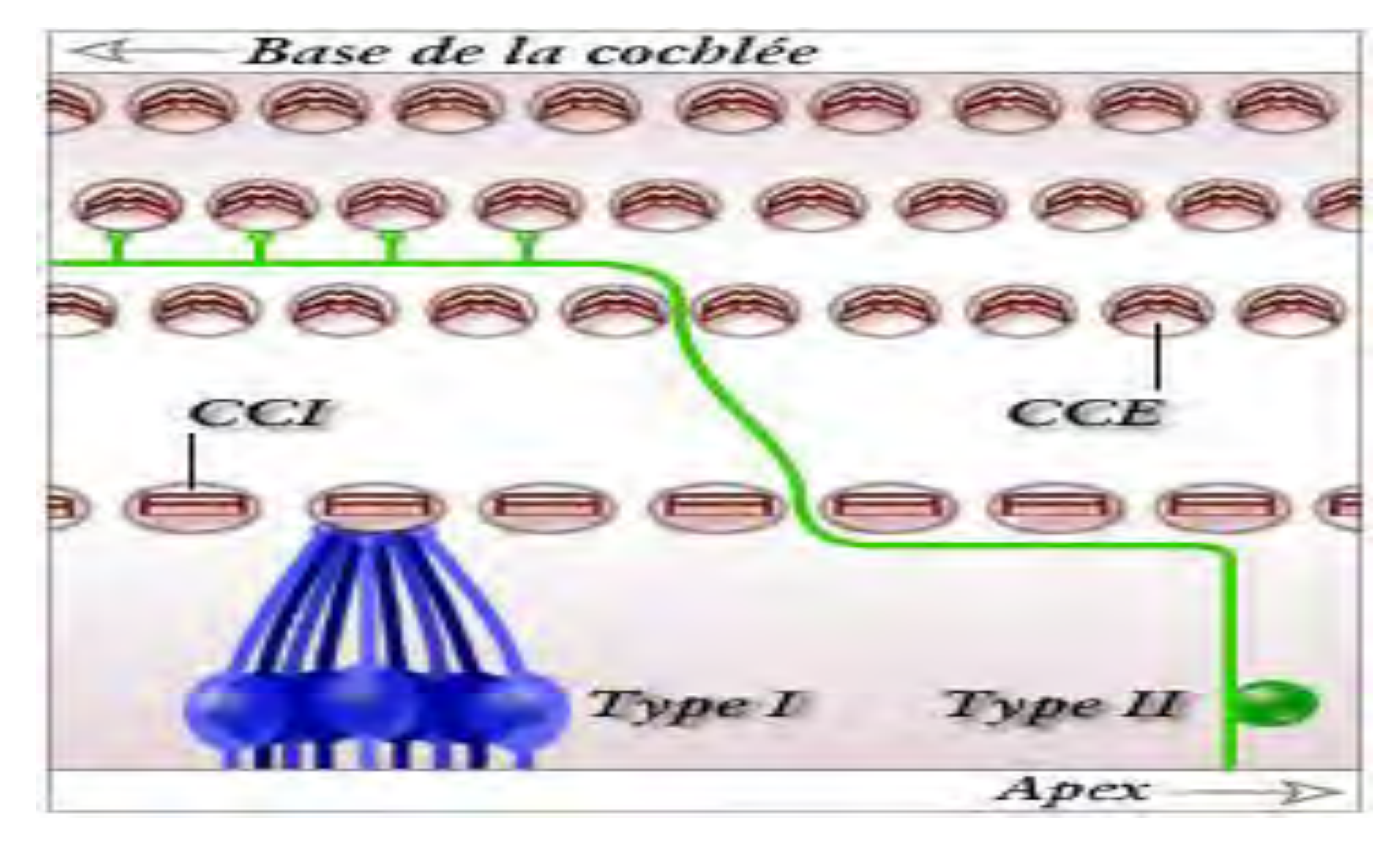


- La repolarisation des CC interne ou externe est due à un courant sortant de k due à l'ouverture des canaux k calcium dépendant ,canaux k voltage dépendant localisés dans les parois latérales des cc.
- Le calcium est soit pompé à l'extérieur de la cellule ou séquestrés dans le réticulum endoplasmique.

Codage des sons par les cci



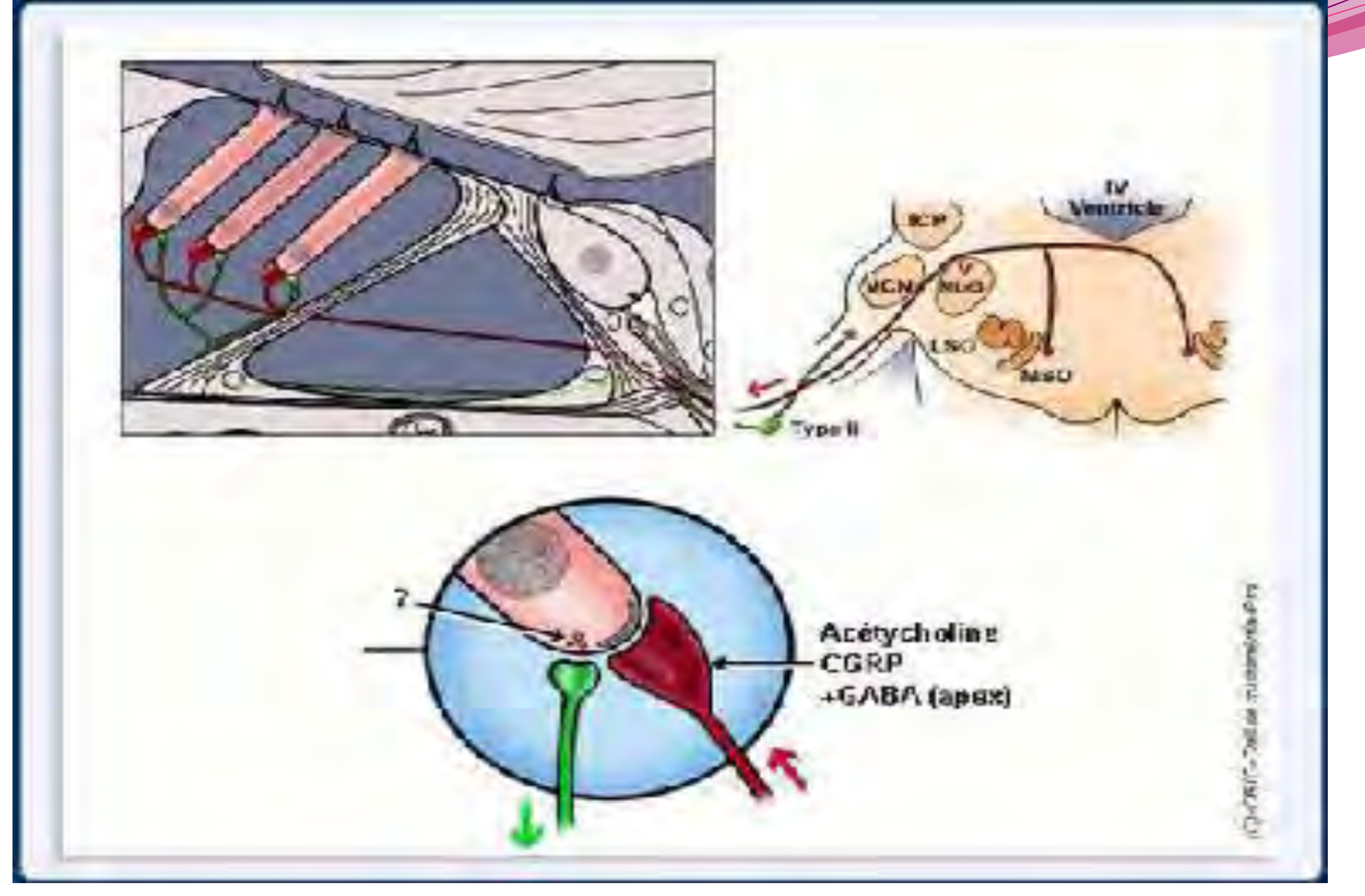
Innervation afférente
importance de l'innervation des cellules ciliées internes



- Les axones myélines de conduction rapides des ccl présentent un haut degrés de divergence
- Les cellules externes envoient leurs messages vers le système afférent spirale par des fibres non myélinisées (5pour cent des fibres du nerf auditif) Haut degrés de convergence
- En retour le SNC peut contrôler l'électromotilité (système efférent médian) :neurones situés bilatéralement dans complexe olivaire supérieur médian.
- la synapse entre la cellule ciliée interne et le nerf auditif (système efférent latéral):olive supérieur homolatéral :protège la synapse contre un traumatisme sonore.

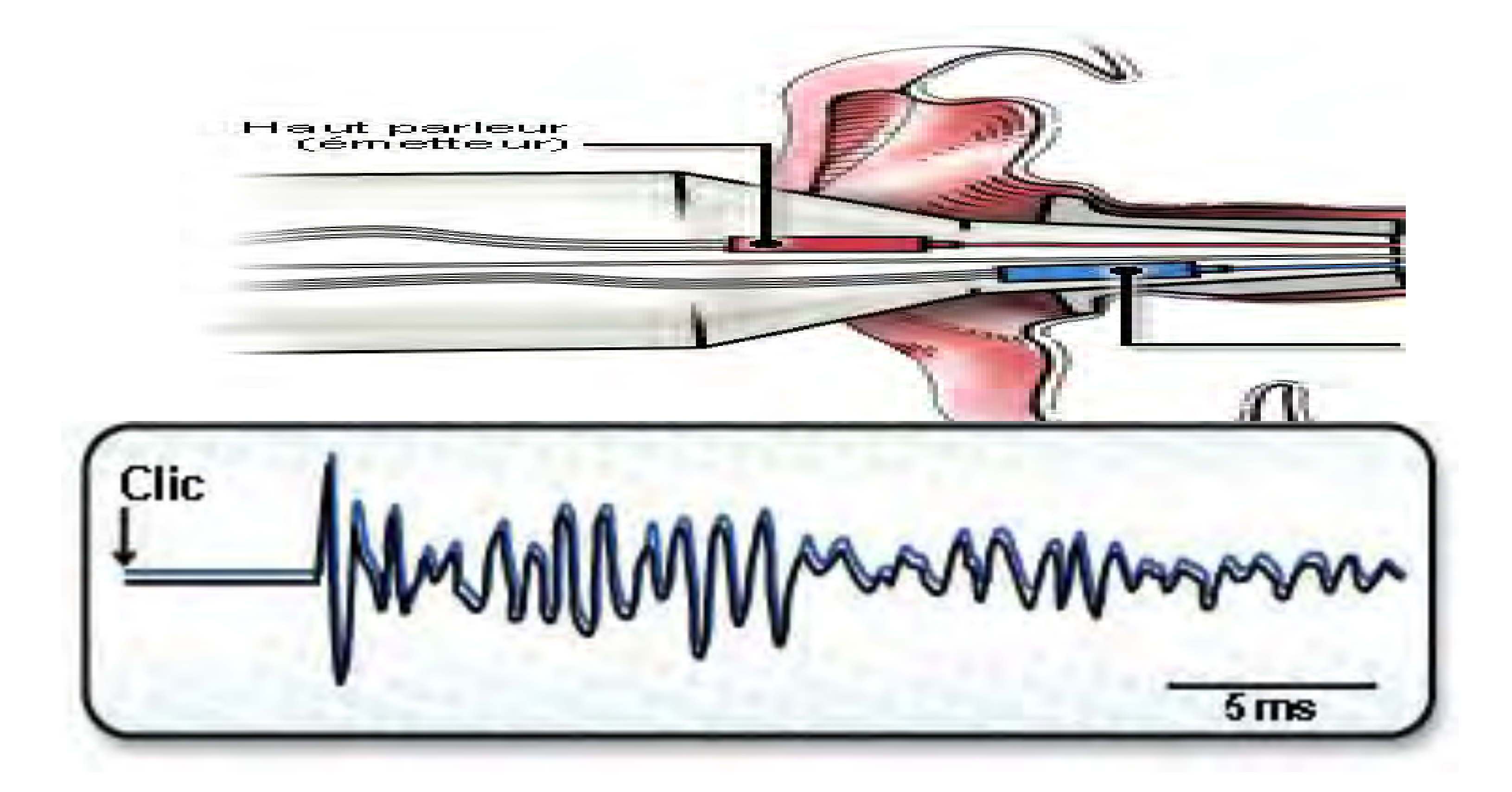
- l'électro-contraction des CCE se transforme aussi en vibration des liquides cochléaires et peut être récupérée par un microphone posé dans le conduit auditif externe
- ce sont les **oto-émissions acoustiques (OAE) devenues un test objectif de la fonction**
- cochléaire, non invasif et rapide, très utilisé chez le nouveau-né

Innervations de la cellule cilié interne

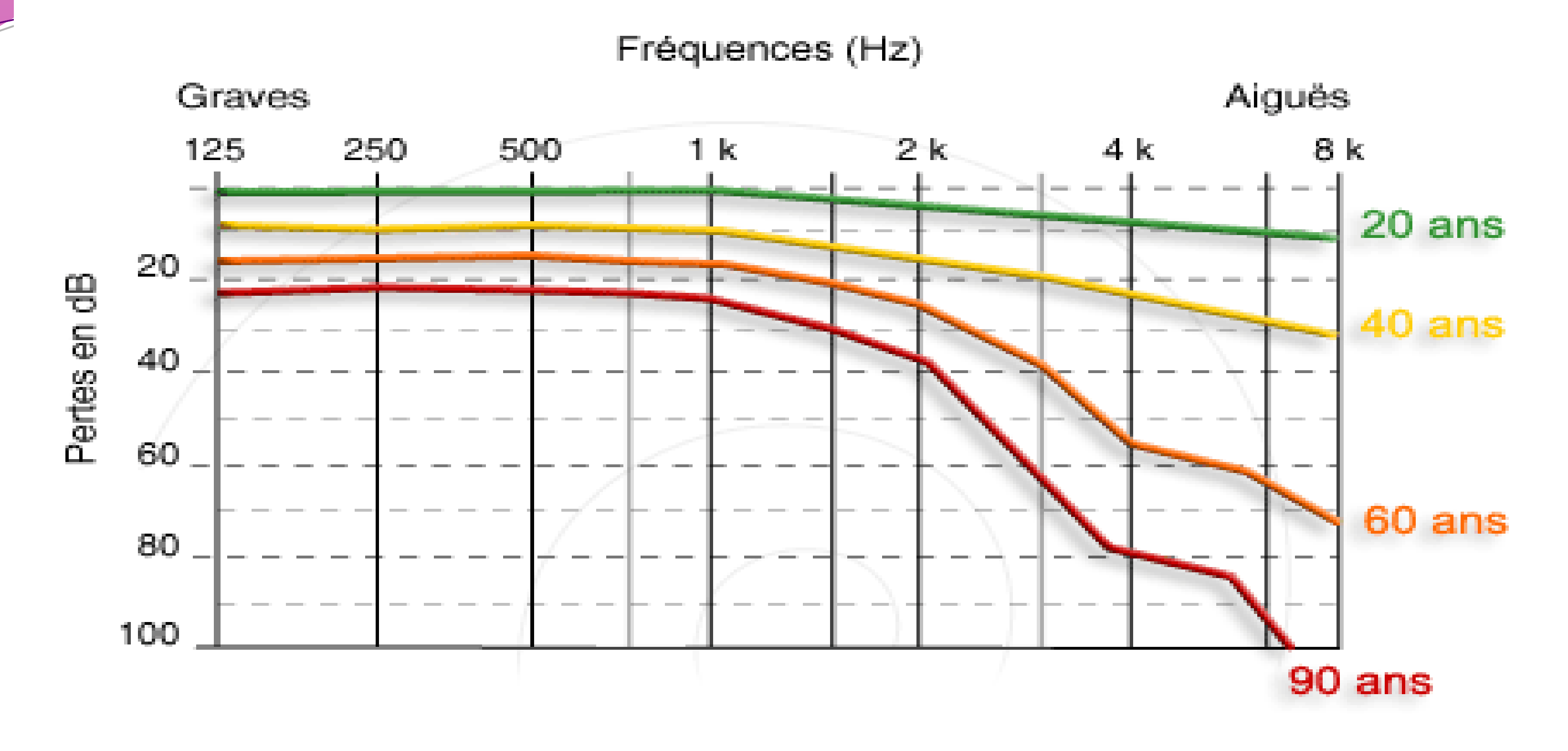


Les cellules ciliées externes et leurs innervations

Les oto-émissions acoustiques



Audiogramme



- **A 20 ans (courbe verte) : audiogramme normal, avec une perte non significative dans les fréquences aiguës (8kHz).**
- **A 40 ans (jaune), cette perte dans les fréquences aiguës s'accentue, sans toutefois devenir handicapante.**
- **A 60 ans (orange), la perte devient significative (>40 dB HL) à 4 kHz ; une gêne de la compréhension apparaît : par ex. pour la perception des consonnes "sifflantes ".**
- **A 90 ans (rouge), la perte > 40 dB HL atteint les fréquences moyennes (2 kHz). La compréhension est altérée.**